

Harri Maijanen

ARSEENI JA FLUORIDI KEURUSSELÄN PORAKAIVOISSA

Opinnäytetyö
Ympäristötekniikan koulutusohjelma


Lokakuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 31.10.2012	
Tekijä(t) Harri Maijanen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniologia	
Nimeke Arseeni ja fluoridi Keurusselän porakaivoissa			
Tiivistelmä <p>Tässä työssä lähdettiin selvittämään Keuruun, Mänttä-Vilppulan, Ruoveden ja Virtain alueilla olevien porakaivojen vedenlaatua arseenin ja fluoridin osalta. Taajamien ulkopuolella olevat kotitaloudet käyttävät talousvetenään kaivovettä, joka yhä useammin otetaan nykyisin porakaivosta. Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut asetuksen 401/2001 pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksia ja valvontatutkimuksia, jonka mukaan arseenille on annettu raja-arvo 10 µg/L ja fluoridille 1,5 mg/L. Työssä haluttiin selvittää kuinka paljon raja-arvon ylityksiä esiintyy sekä sitä, voidaanko ylityksissä tai kohonneissa pitoisuuksissa havaita maantieteellistä keskittymistä tai kallioperästä johtuvaa riippuvuutta.</p> <p>Tutkimuksessa oli mukana 304 vesianalyysia. Tulokset jaettiin molempien aineiden osalta kohonneisiin pitoisuuksiin ja raja-arvon ylityksiin. Kaivon maantieteellistä sijaintia edusti kiinteistön osoite, jonka perusteella saatiin karttakoordinaatit. Sekä kohonneet arvot että ylitykset koottiin taulukkolaskentaohjelmaan karttakoordinaatteina ja sieltä edelleen paikkatieto-ohjelmaan. Paikkatieto-ohjelmaan oli rekisteröity kallioperäkartta, jonka päälle koholla olevat ja raja-arvon ylitykset lisättiin tasoina omilla värisymboleillaan.</p> <p>Arseenin kohdalla 10 kaivoa 137:stä oli koholla tai ylitti raja-arvon. Fluoridilla vastaavat luvut olivat 51kaivoa 167:sta. Arseenin esiintyminen alueella on yleisesti ottaen satunnaista ja vähäistä. Liuskeisessa kallioperässä riski arseenille näyttäisi kuitenkin olevan hiukan muita kivilajeja suurempi. Fluoridin tapauksessa graniitti on kivilajina riskiä lisäävä. Graniitissa näkyy sama, mutta kuitenkin heikompana. Keuruulla samoin kuin Virroilla on tiettyjä alueita, joissa riski fluoridin esiintymiselle haitallisessa määrin on todellinen.</p> <p>Tulosten perusteella voidaan jatkossa antaa perusteltu suositus fluoridin tutkimiselle, mikäli porakaivo sijaitsee tietyssä kallioperässä tai muuten tunnistetulla riskialueella. Tuloksia voidaan siten jatkossa hyödyntää käytännön neuvonta- ja valvontatyössä.</p>			
Asiasanat (avainsanat) arseeni, fluoridi, kallioperä, pohjavesi, porakaivo			
Sivumäärä 40	Kieli suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Arto Sormunen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Keurusselän ympäristön- ja terveydensuojelu-toimisto	

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis 31.10.2012	
Author(s) Harri Maijanen		Degree programme and option Environmental technology	
Name of the bachelor's thesis Arsenic and fluoride in the drilled wells of Keurusselkä			
Abstract <p>The subject of this work was to find out arsenic and fluoride concentration in drilled wells in Keurusselkä region. Households outside densely populated community use drinking water which is more often pumped from drilled bedrock wells. The decree of the Ministry of Social Affairs and Health's orders that limit values are 10 µg/L for arsenic and 1,5 mg/L for fluoride. It was wanted to find out how often limit values were exceeded, whether the concentrations were related to the rock type or if it was possible to see certain regions in where concentrations are too high.</p> <p>There were 304 water samples in this study. Results were divided into two parts which were over limit values and slightly high values. An address of the real estate represented the location of the well. This address gave the coordinate of the well. Both of these results, over limit and slightly high with coordinates were first typed in Excel program and from there to GIS program. There was a registered bedrock map of Finland onto which all high and slightly high values were put as layers with own colour symbols.</p> <p>Ten out of 137 wells exceeded the limit value of arsenic or were slightly high. In case of fluoride respectively numbers were 51 wells out of 167. Arsenic in bedrock ground water is casual and negligible. If bedrock consists of schists the risk of arsenic seems to be anyway a bit higher than in other type of bed rock. Granite increases the risk of high fluoride concentration. It can be seen the same behaviour in granodiorite but weaker than in granite. There are some regions in Keuruu and Virrat where the risk of harmful health effects is real.</p> <p>According to the results it is possible in future to give recommendations to analyse fluoride concentration if drilled well locates in certain type of bedrock or in other identified risk area. From now on the results are useful in everyday work concerning information given to inhabitants as well as in normal control work made by authority.</p>			
Subject headings, (keywords) arsenic, fluoride, bedrock, ground water, drilled well			
Pages 40		Language Finnish	
URN			
Remarks, notes on appendices			
Tutor Arto Sormunen		Bachelor's thesis assigned by Keurusselän ympäristön- ja terveyden- suojelutoimisto	

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	2
2 HYDROGEOLOGIAA	6
2.1 Pohjaveden muodostuminen	6
2.2 Kalliopohjaveden laatu.....	8
2.2.1 Arseeni	9
2.2.2 Fluoridi	10
2.3 Kallioporakaivo	11
3 ARSEENIN JA FLUORIDIN POISTO	13
3.1 Käänteisosmoosi.....	14
3.2 Alumiinioksidi.....	16
4 ALUEEN GEOLOGIA	17
5 MENETELMÄT	21
5.1 Paikkatieto-ohjelma.....	21
5.2 Karttakoordinaatistot	22
5.3 Vesianalyysit	23
6 TULOKSET	25
6.1 Tilastolliset tunnusluvut	25
6.2 Alueellinen esiintyminen.....	27
7 TULOSTEN TARKASTELU	30
7.1 Virhetarkastelu	30
7.2 Alueellinen tarkastelu.....	33
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	35
9 KIITOKSET	36
LÄHTEET	38

1 JOHDANTO

Talousveden laatu vaikuttaa kaikkien hyvinvointiin. Puhtaan veden saanti on terveyden perusedellytys. Suomessa on ollut pitkään määräyksiä talousveden laadusta, mutta monien aineiden enimmäispitoisuudet ovat olleet nykytasolla vasta 90-luvun puolivälistä alkaen. Esimerkiksi arseenin pitoisuus talousvedessä on ollut viisinkertainen nykyiseen arvoon verrattuna vuoteen 1994 asti. Nyt voimassa olevat vaatimukset on kirjattu Terveysuojelulain 5:een lukuun ja sen pohjalta annettuihin asetuksiin. Lain 17 § mukaan talousveden on oltava terveydelle haitatonta ja muutenkin sanottuun tarkoitukseen soveltuvaa (Terveysuojelulaki 763/1994). Lain perusteella on Sosiaali- ja terveysministeriö antanut asetuksen 401/2001, joka koskee pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksia ja valvontatutkimuksia. Asetuksessa luetellaan suuri joukko kemiallisia ja mikrobiologisia muuttujia, joista tässä työssä käsitellään kahta kemiallista komponenttia, arseenia ja fluoridia (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus pienten yksiköiden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 17.5.2001/401, lyhenne STMa 401/2001). Kyseisille aineille on annettu asetuksessa terveysperustaiset raja-arvot, jotka ovat arseenille 10 µg/L ja fluoridille 1,5 mg/L.

Kunnilla on velvoite olla selvillä alueensa talousveden laadusta ja sen mahdollisesti aiheuttamista terveyshaitoista. Niiden täytyy myös jakaa tätä tietoa kaivoveden varassa oleville kotitalouksille. Kuntia ei kuitenkaan ole velvoitettu tutkimaan jokaista kaivoa erikseen, vaan kyseessä on yleisen vedenlaatua koskevan tiedon hankkiminen alueeltaan (Lapinlampi ym. 2001, 29). Toisaalta viranomainen voi vaatia yksityiskaivon vedenlaadun selvittämistä, mikäli epäillään vedestä aiheutuvan terveyshaittaa. Juuri lainsäädännöstä tuleva velvoite on ollut mielessä työhön ryhtyessä. Keuruksen ympäristön- ja terveysuojelutoimiston alueella haluttiin tämän työn avulla selvittää arseenin ja fluoridin esiintymistä kalliopohjavedessä. Kuinka suuria määriä kyseisiä komponentteja alueen porakaivoissa yleisesti ottaen esiintyy, onko aineiden esiintyminen ongelma ja onko alueellisessa esiintymisessä nähtävissä selkeää johdonmukaisuutta? Lisäksi haluttiin selvittää, minkälaisessa geologisessa ympäristössä aineita esiintyy liiallisessa määrin ja voidaanko ongelmaa sen jälkeen lähestyä vastakaisesta suunnasta? Onko toisin sanoen mahdollista nimetä riskialueita ja ennustaa aineiden esiintymisen todennäköisyyttä kallioperän tai maantieteellisen sijainnin perusteella.

Suomessa tehtyjen laajojen pohjavesianalyysien perusteella tiedetään, että arseenin pitoisuus on kalliopohjavedessä noin kolminkertainen maaperän pohjaveteen verrattuna (Lahermo ym. 2002, 20). Fluoridin osalta ero on vielä suurempi, sillä maaperän pohjavedessä pitoisuudet alittavat yleensä laboratorioden analyysirajan (Lahermo ym. 2002, 20). Tästä seikasta johtuen päätettiin tutkimuksessa keskittyä pelkästään kallio-porakaivoihin. Valintaan vaikutti myös se, että porakaivojen määrä on jatkuvassa kasvussa. Viranomaisten valvontatyötä vaikeuttaa huomattavasti se, että kukaan ei tiedä paljonko porakaivoja Suomessa on.

Selvitystä varten koottiin yhteen aiemmat, hajallaan eri kunnissa olleet tutkimustulokset sekä tehtiin joukko uusia vedenlaatututkimuksia. Vuosien mittaan tehtyjen tutkimustulosten keräilyssä ja säilyttämisessä on ollut suuria kuntakuntaisia eroja. Vähiten tuloksia oli saatavilla Mänttä-Vilppulan alueelta, minkä johdosta suurin osa tutkimuksista suunnattiin sinne. Keuruulta saatiin melko paljon vanhoja analyysituloksia, mutta sieltä otettiin myös joitain uusia vesinäytteitä. Kattavin vanhojen tulosten aineisto saatiin Ruovedeltä. Lähes yhtä hyvä oli tilanne Virroilla. Kun vanhoihin analyysituloksiin lisättiin uudet, saatiin kokoon melko laaja ja maantieteellisesti kattava aineisto. Kuntakohtaisia eroja vanhojen tulosten määrässä selittää osaltaan se, että kuntien taajama-asteet eroavat huomattavasti. Mänttä-Vilppulan taajama-aste on 82,0 %, Keuruun 69,6 %, Virtain 51,5 % ja Ruoveden 49,8 % (Tilastokeskus 2012). Taajama-asteella on merkitystä vesihuoltolaitosten piirissä olevien kotitalouksien määrään.

Keurusselän ympäristöterveydenhuollon yhteistoiminta-alueeseen kuuluvat edellä mainittujen kuntien lisäksi Jämsä ja Kuhmoinen (kuva 1). Näissä kunnissa on Geologian tutkimuskeskus (lyhenne GTK) tehnyt kattavan kaivovesitutkimuksen riskikartoituksineen 90-luvun lopulla (Idman 1997 ja 1998), minkä johdosta niiden mukaan ottamista ei pidetty tarpeellisena.



KUVA 1. Keurusselän yhteistoiminta-alueen kunnat: Virrat, Keuruu, Ruovesi, Mänttä-Vilppula, Jämsä ja Kuhmoinen. Tutkimusalueen karkea rajausta tehty sinisellä (Maanmittauslaitos 2011, muokattu).

Mänttä-Vilppula, Ruovesi ja Virrat ovat olleet mukana Pirkanmaalla 2000-luvun puolivälissä toteutetussa laajassa RAMAS-hankkeessa, jossa tutkittiin arseenin esiintyvyyttä ja riskinhallintaa (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007). Näitä tuloksia hyödynnettiin tässä tutkimuksessa sekä täydentävänä aineistona että referenssinä. Keurusselän ympäristöterveydenhuollon yhteistoiminta-alue on aloittanut toimintansa nykyisessä laajuudessa vuoden 2008 alusta. Keuruu on alueen kunnista ainoa, joka ei ole ollut mukana laajoissa yksityiskaivojen vedenlaatuselvityksissä minkään alkuaineen osalta lukuun ottamatta valtakunnallista kaivovesitutkimusta (Lahermo ym. 2002). Työn tavoitteena oli siten tuottaa neljän kunnan alueelta keskitettyä tutkimustietoa kalliopohjaveden kemiallisesta laadusta koskien luontaisesti esiintyvää arseenia ja fluoridia sekä saada kyseisten aineiden alueellisesta esiintymisestä aiempaa tarkempi kuva. Vertaamalla näitä tuloksia geologiseen kartoitustietoon pyrittiin tunnistamaan mahdolliset riskialueet. Mikäli sellaisista saataisiin näyttöä, voitaisiin kaivoveden varassa asuville kuntalaisille antaa jatkossa suosituksia veden laadun tutkimisesta tilanteesta, jossa heidän kaivonsa sijaitsee joko riskialueella tai lähellä tunnettua korkean arseeni- tai fluoridipitoisuuden kaivoa.

Pohjaveden laatuun keskeisesti vaikuttava tekijä on alueen geologia. Se määrää kuinka paljon ja minkälaisia aineita maa- ja kallioperästä siihen liukenee. Porakaivossa kallioperän mineraali- ja kivilajikoostumus vaikuttavat pohjaveden laatuun. Suomessa

on tiettyjä alueita, joissa arseenia ja fluoridia esiintyy selvästi keskimääräistä enemmän. Rapakivialueilla Kaakkois-Suomessa ja paikoin Lounais-Suomessa ovat pohjaveden fluoridipitoisuudet korkeita (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 90). Arseenia puolestaan esiintyy tyypillisesti Loukola-Ruskeeniemen ym. (2007, 10) mukaan Hämeessä ja etenkin Pirkanmaalla, missä kallioperä koostuu erilaisista liuskeista ja migmatiiteista (Kähkönen 1998, 201).

Keurusselän alueella on tutkittu laajasti pohjaveden arseenia Geologian tutkimuskeskuksen toimesta 1990-luvun lopulla Jämsässä ja Kuhmoisissa (Idman 1997 ja 1998). RAMAS-hankkeen yhteydessä on tutkimuksia tehty 2000-luvulla Mänttä-Vilppulassa, Ruovedellä ja Virroilla. Painopiste viime mainitussa tutkimuksessa on kuitenkin ollut selvästi riskialueeksi tiedetyllä eteläisellä Pirkanmaalla (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 113). Keuruun alueelta ei ole olemassa aiempaa koottua tutkimustietoa. Syynä tähän lienee ollut se, että Keuruun kallioperä kuuluu Keski-Suomen granitoidivyöhykkeeseen, jota ei aiempien tutkimusten perusteella pidetä arseenin esiintymisen riskialueena (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 89). Arseeni ei kuulu laboratorioiden tutkimuspaketteihin vaan se tehdään erillismäärityksenä. Tästä huolimatta myös arseenimäärityksiä oli saatavilla alueelta melko paljon. Täydentäviä tutkimuksia jouduttiin tekemään eniten Mänttä-Vilppulassa ja jonkin verran Keuruulla.

Arseeni juomavedessä on maailmanlaajuinen ongelma ja sen aiheuttamia terveysriskejä on tutkittu laajasti (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2004, 7). Maailman terveysjärjestö WHO on luokitellut arseenin karsinogeeniseksi aineeksi. Juomaveden arseeni lisää riskiä saada virtsarakon syöpä (Terveys- ja hyvinvoinnin laitos, 2008). Sillä on myös muita haittavaikutuksia, kuten esimerkiksi ihomuutokset, kohonnut verenpaine ja lisääntynyt diabeteksen riski. Nämä ilmenevät kuitenkin yleensä vasta suurilla pitoisuuksilla (Hänninen ym. 2010, 13).

Fluoridin pitoisuuksia kaivovesissä on selvitetty Jämsässä ja Kuhmoissa Idmanin (1997 ja 1998) tutkimuksissa yhdessä muiden alkuaineiden kanssa. Keuruulla, Mänttä-Vilppulassa, Ruovedellä ja Virroilla on tutkittu fluoridia normaaleissa porakaivovesianalyyseissa. Fluoridi sisältyy porakaivojen vedenlaadun määrityksissä vakiotutkimuksiin, minkä johdosta tietoa sen esiintyvyydestä oli saatavilla runsaasti pitkältä ajalta terveydensuojeluviranomaisen omista tietokannoista. Aineistoa ei kuitenkaan ole aiemmin koottu yhteen eikä näin ollen juuri hyödynnetty. Laajan valtakunnallisen

kaivovesitutkimuksen (Lahermo ym. 2002, 22) perusteella tiedetään, että Suomen porakaivovesistä 15,8 % ylittää terveysperustaisen raja-arvon 1,5 mg/L. Myös Kuorsuselän alueelta on tavattu raja-arvon ylityksiä siellä täällä (Idman 1997 ja 1998, Lahermo ja Backman 2000, 26). Fluoridi on ihmiselle pieninä pitoisuuksina välttämätön hivenaine, mutta suurempina annoksina vahingollinen. Hyödyllisen ja haitallisen pitoisuuden ero on melko kapea. Juomaveden pitoisuuden ollessa hieman 1 mg/L molemmiin puolin suojaa fluoridi tehokkaasti erityisesti lasten hampaita, mutta määrän noustessa yli 1,5 mg/L tulevat haittavaikutukset esiin ja etenkin lapsille aiheutuu fluoroosia eli hampaiden kiillelaikkuisuutta. Fluoridin on hammaskiillevaikutusten lisäksi epäilty edistävän aikuisiällä luunmurtumia, mutta näyttö on ollut osittain kiistanalaista (Hänninen ym. 3, 2010). Uusimpien tutkimustulosten perusteella on Yhdysvalloissa kuitenkin annettu ympäristö- ja terveysviranomaisten toimesta uusi suositus fluoridin määrälle juomavedessä. Sen mukaan määrä ei saisi ylittää 0,7 mg/L. Lääketieteelliset perusteet ovat samat kuin aikaisemmin eli hampaiden kiillelaikkuisuus ja luiden haurastuminen. (HealthCMI 2011).

2 HYDROGEOLOGIAA

2.1 Pohjaveden muodostuminen

Maapallon kokonaisvesivaroista on makeaa vettä noin 4 %. Selkeästi suurin osa tästä määrästä on sitoutuneena jäätiköihin. Maanalaisia vesiä arvioidaan olevan noin 15,4 miljoonaa kuutiokilometriä, joka on noin 1 % maapallon vesivaroista (Peixoto & Ketani 1973, 46). Maapallolla oleva vesi on alituissa kiertoliikkeessä, jota ylläpitää aurinkoenergia ja maan painovoima. Vesi siirtyy ilmakehään haihtumalla meristä, evapotranspiraationa maa-alueilta ja sublimoitumalla jäätiköiden pinnalta. Ilmakehässä vesihöyry tiivistyy ja sataa vetenä tai lumena maa-alueille ja meriin tai laskeutuu sumuna alas. Osa alas tulleesta vedestä imeytyy maankamaraan muodostaen pohjavettä, osa siirtyy pinta- tai maavesivaluntana jokiin ja järviin, joista se palaa meriin. Myös pohjavesi päätyy lopulta pintavesistöjen kautta meriin, mutta viipymä on eri lähteiden mukaan keskimäärin satoja vuosia. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 22). Vuosittainen sadanta on Suomessa 500–700 mm. Länsi-Suomessa ja Lapissa sataa vähemmän kuin muualla maassa. Haihdunta on maassamme keskimäärin 340 mm vuodessa. (Kuusisto 2002, B2). Loppuosa sadannasta on valuntaa. Veden määrä pit-

källä aikavälillä on vakio. Vettä ei voi kadota minnekään. Tätä kuvaa hydrologinen perusyhtälö eli niin sanottu vesitaseyhtälö:

$$P = Q + E + \Delta S \quad (1)$$

Yllä olevassa kaavassa (1) **P** on sadanta, **Q** valunta, **E** haihdunta ja **ΔS** on tietylle alueella varastoituneen veden määrän muutos. Kaavasta nähdään, että jos valunta ja haihdunta ovat pienempiä kuin sadanta, täytyy veden ylimäärän varastoitua jonnekin. Käytännössä varaston lisäys tapahtuu vesistöön ja pohjaveteen. Sama toimii myös toisin päin. Jos valunta ja haihdunta ovat sadantaa suurempia, täytyy ylimäärä vettä ottaa varaston muutoksesta.

Suomen pohjavesialueet ovat epätasaisesti jakautuneet ja ne ovat melko pieniä. Pohjaveden määrä ja laatu vaihtelee alueittain. Eniten pohjavesialueita löytyy Etelä-Hämeestä ja Salpausselkävyöhykkeestä, niukkavetisiä alueita on monin paikoin Pohjanmaalla (Kinnunen 2005, 10). Tärkeimmät, laajimmat ja parhaiten yhdyskuntien vedenottoon soveltuvat pohjavesiesiintymät sijaitsevat lajittuneissa hiekka- ja sorakerostumissa. Geomorfologisesti kyseiset esiintymät ovat harjuja ja lajittuneita reuna muodostumia. Suomen yleisin maalaji on kuitenkin moreeni ja siten suurin osa yksittäisten kotitalouksien rengaskaivoista on kaivettu moreeniin. Sateen imeytyminen moreeniin ja sen vedenjohtokyky hiekkaan tai soraan verrattuna on melko huono, mutta yleensä moreenimaahan tehdystä kaivosta saadaan riittävästi vettä yksittäistalouden tarpeisiin. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 53).

Vesi varastoituu maankamarassa olevaan huokostilaan. Huokostila on maarakeiden välissä olevaa tilaa tai kalliossa oleva rakosysteemi. Lähellä maanpintaa huokostila on täyttynyt ilmalla ja vedellä. Mitä lähemmäs pohjaveden pintaa mennään, sitä suuremmaksi kasvaa veden osuus. Pohjavesivyöhykkeessä raot ovat täysin veden kyllästämiä. Huokoisuus ilmaisee huokostilan ja kokonaistilavuuden suhdetta. Sedimenttikivien huokoisuus voi olla 40 % (Press & Siever 2002, 261), mutta Suomessa yleisten magma- ja metamorfisten kivien vain 1–2 %. Kuitenkin ruhjeisessa kallioperässä huokoisuus voi olla jopa 10%. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 28–29).

Kallioperän yleisimpiä pohjavesiesiintymiä eli akvifereja ovat ruhjeet ja rikkouma- vyöhykkeet. Akviferi on määritelmän mukaan veden kyllästävä, vettä hyvin johtava

ja hydraulisesti yhtenäinen muodostuma. Kivet itsessään ovat lähes vettä läpäisemättömiä, mutta etenkin kallioperän ylin 100 metriä on hyvin rikkonainen. Havaintojen mukaan yli 100 metriä syvempää porakaivoa ei kannata tehdä. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 54). Syynä tähän on sekä rakojen esiintymistiheyden väheneminen että myös lisääntyvät veden laatuongelmat, joiden syynä on lähtökohtaisesti veden vähäpäästöisyys (Lapinniemi ym. 2001, 57). Pohjavettä varastoituu siis kallioperän rakoihin, halkeamiin ja rikkonaisuusvyöhykkeisiin. Kyseiset vyöhykkeet – ruhjeet – voivat olla pituudeltaan muutamasta kymmenestä metristä jopa satoihin kilometreihin. Raot niissä ovat kuitenkin yleensä hyvin kapeita, leveydeltään alle 1 mm. Rakojen kapeudesta huolimatta ruhjeet varastoivat pohjavettä runsaasti ja niistä muodostuvat varsinaiset kalliopohjavesialtaat. Verrattuna muualla maailmassa yleisiin ja tilavuudeltaan suuriin sedimentti- tai kalkkikiviakvifereihin, suomalaisia kallioakvifereja luonnehtivat pieni veden varastotilavuus ja syvyys sekä lyhytaikainen hydrologinen kierto (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 52–55).

2.2 Kalliopohjaveden laatu

Pohjaveden happipitoisuus on hyvin merkittävä laatuparametri. Happipitoisuus säätelee suoraan hapetus-pelkistysolosuhteita ja vedessä tapahtuvia kemiallisia reaktioita. Hapetus-pelkistyspotentiaali säätelee erityisesti sellaisten redox-aktiivisten aineiden kuten raudan, mangaanin sekä typpi- ja rikkiyhdisteiden käyttäytymistä (Lahermo ym. 2002, 49). Vähähappisessa vedessä on tästä johtuen etenkin rauta-, mangaani ja hajuhaittoja. Porakaivojen happipitoisuus on selvästi matalampi kuin rengaskaivojen (Lapinlampi 2001, 56).

Pohjavedessä ei ole käytännössä lainkaan kiinteitä partikkeleita. Suotautuessaan maankamاران huokosten läpi savi- ja muut hienot partikkelit jäävät maahiukkasten muodostamaan filtteriin (Press & Siever 2001, 273). Pohjaveteen liuenneet ainemäärät ovat hyvin pieniä, mutta kuitenkin noin kymmenkertaiset sadeveteen verrattuna. Koska sadevesi on lievästi hapanta, liuottaa se maaperän ns. maannoshorisontista aineita mukaansa. Maannoshorisontin ylimmässä kerroksessa on runsaasti biomassasta lähtöisin olevia löyhästi kiinnittyneitä alkuaineita ja orgaanisia happoja, jotka liukenevat veteen lisäten edelleen sen happamuutta. Hapan vesi liuottaa mineraaleja, jolloin alkuainepitoisuus edelleen lisääntyy. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 64–66). Pohjavesi on siten liuos, jossa on vaihtelevia määriä anioneja, kationeja sekä humusaineita

(Korkka-Niemi & Salonen 1996, 78). Näiden elektrolyyttien kokonaismäärä vaihtelee kalliopohjavedessä tavallisesti 100–200 mg/L välillä. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 64–78). Määrä on noin kaksinkertainen maaperän pohjaveteen verrattuna (Lahermo ym. 2002, 86), mutta toisaalta hyvin matala verrattuna niin sanottuun mineraaliveteen, jossa elektrolyyttipitoisuus voi olla 1000 mg/L. Vertailun vuoksi mainittakoon, että merivedessä pitoisuus on puolestaan vähintään 10 000 mg/L eli suolapitoisuuden sanotaan tällöin olevan 1 %. Vettä, jonka elektrolyyttipitoisuus on yli 3000 mg/L:ssa, ei voida käyttää juomavetenä. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 64). Pohjaveden pääkomponentteja ovat kationeista kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), natrium (Na^+), kalium (K^+) ja rauta (Fe^{2+}) sekä anioneista bikarbonaatti (HCO^-), sulfaatti (SO_4^{2-}) ja kloridi (Cl^-). Edellä luetellut pääkationit ja -anionit kattavat pohjaveteen liuenneista aineista noin 90 %. Kuitenkin myös eräät muut varsin pieniä pitoisuuksina esiintyvät aineet ovat merkityksellisiä kun veden käyttökelpoisuutta arvioidaan. Tällaisia aineita ovat muun muassa sivukomponenttina esiintyvä fluoridi ja hivenkomponenteista arseeni. (Korkka-Niemi & Salonen 1996, 65–78).

2.2.1 Arseeni

Arseeni liikkuu hydrologisen kierron mukana ilmassa, maaperässä, kasveissa sekä pinta- ja pohjavedessä. Paikallisesti arseenia voi joutua ympäristöön ihmistoiminnan vaikutuksesta, mutta pohjavedestä tavatut haitallisen korkeat arseenipitoisuudet ovat yleensä olleet lähtöisin maa- ja kallioperän luontaisesta arseenista (Lahermo ym. 2002, 24). Arseenia esiintyy yleisesti sulfidimineraaleissa, joista tärkein on arseenikiisu ja löllingiitti (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 21). Pienempinä määrinä sitä esiintyy rikkikiisussa, kuparikiisussa, sinkkivälkkeessä ja lyijyhohteessa. Myös oksidimineraaleina tunnetut ilmeniitti ja magnetiitti sisältävät yleisesti arseenia (Lahermo ym. 2002, 24). Savea ja etenkin orgaanista ainesta sisältävät metamorfoituneet sedimenttikivet sisältävät arseenia selvästi enemmän kuin graniittisista syväkivistä muodostunut kallioperä. Jako ei kuitenkaan ole yksiselitteinen. Niinpä syväkivistä gabrot ja peridotiitit voivat sisältää huomattavia määriä arseenia. Samoin emäksiset vulkaniitit, esimerkiksi vihreäkivet ja amfiboliitit sisältävät arseenia. (Lahermo ym. 2002, 24).

Arseeni esiintyy liuoksissa tyypillisesti hapetusasteella +3 olevana arseniittina AsO_3^{3-} tai hapetusasteella +5 oleva arsenaattina AsO_4^{3-} . Syvissä hapettomissa pohjavesissä arseniitti on vallitseva muoto ja hapellisissa olosuhteissa arsenaatti. Hapetusasteella -3

olevat arsenidit ovat harvinaisia ja esiintyvät vain voimakkaasti pelkistävässä ympäristöissä. Arsenaattia voi pidäytyä maaperässä savekseen, kallion raoissa oleviin kalliosaviin ja yleisesti humukseen sekä Fe-, Mn- ja Al-hydroksisaostumiin. Voi myös käydä niin, että olosuhteiden muuttuessa pelkistäviksi, arseenia vapautuu rautasaostumista takaisin liuokseen (Lahermo ym. (2002, 26).

Suomalaisten porakaivojen arseenipitoisuuden mediaani on Lahermon ym. (2002) mukaan 0,16 µg/L, mutta keskiarvo 1,00 µg/L. Luvut kertovat siitä, että kuvaaja ei ole normaalisti jakautunut, vaan sillä on pitkä häntä oikealla. Toisin sanoen korkeita pitoisuuksia on lukumääräisesti vähän, mutta ne vetävät keskiarvon selvästi mediaanin yläpuolelle. Korkein mitattu pitoisuus oli 1000 kaivon tutkimuksessa 23,6 µg/L (Lahermo ym. 2002, 19). Pirkanmaan alueella mediaaniarvo on ollut GTK:n hieman myöhemmin tekemien tutkimusten mukaan 1,57 ja keskiarvo 36,1 µg/L. Luvuista nähdään, että Pirkanmaalla arseenia esiintyy selvästi muuta maata enemmän. (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 31). Koko maan aineistossa STMa 2001:n mukaisia 10 µg/L ylityksiä oli 3 %:ssa kaivoista (Lahermo ym. 2002, 26), kun taas Pirkanmaalla (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 31) 22,5 %:ssa. Loukola-Ruskeeniemen ym. (2007) selvitysten mukaan arseenin esiintyminen ei korreloi esimerkiksi raudan tai mangaanin eikä myöskään kaivon syvyyden kanssa. Kyseisen havainnon johdosta ei tämän tutkimukseen lähtötietoihin katsottu olevan tarpeellista sisällyttää tietoa porakaivon syvyydestä.

2.2.2 Fluoridi

Fluori on alkuaineista voimakkain hapetin ja se esiintyy aina hapetusluvulla -1 jolloin syntyy fluoridiksi kutsuttu ioni. Fluoria on pieninä pitoisuuksia kaikissa geologisissa muodostumissa. Tärkein fluoria sisältävä mineraali on halidien pääryhmään kuuluva fluoriitti CaF_2 (Lahermo ym. 2002, 17). Muita fluoria sisältäviä mineraaleja ovat muun muassa kohtalaisen yleisesti esiintyvä apatiitti, ytrofluoriitti ja turmaliini, joista jälkimmäinen on hyvin niukkaliukoinen. Yhdenarvoinen fluoridi-ioni (F^-) korvaa hydroksidi-onia kiilteissä ja amfiboleissa. Koska kyseiset mineraaliryhmät kuuluvat kivilajeja muodostaviin päämineraaleihin, ovat ne fluoriitin ohella kallioperän tärkeimpiä fluorilähteitä. (Lahermo ym. 2002, 17). Kivilajeista fluoria esiintyy erityisen paljon rapakivigraniitissa, mutta myös muut rapakiveä geokemiallisesti muistuttavat graniitit ovat sen lähteitä (Rämö 1993, 13–28). Rapakivialueet käsittävät Suomen pinta-alasta vajaat 4 %. Fluoridipitoisuus näiden alueiden pohjavedessä on 1–2 mg/L,

mikä on kymmenkertainen muuhun maahan verrattuna. Rapakiven pääalueita ovat niin kutsuttu Viipurin rapakivialue Kaakkois-Suomessa, Ahvenanmaan alue ja Satakunnassa sijaitseva Laitilan plutoni (Rämö 1998, 262). Kaikki kyseiset alueet ovat maantieteellisesti kaukana Keurusselästä, mutta myös Keski-Suomesta on löydetty paikoin korkeita F^- - pitoisuuksia (Lahermo & Backman 2000, 17). Niiden lähteinä ovat olleet rapakiveä muistuttavat graniitit ja granodioriitit.

Porakaivojen fluoridipitoisuuden mediaani on Lahermon ym. (2002) mukaan Suomen porakaivoissa 0,15 mg/L ja keskiarvo 0,71 mg/L. Rapakivialueilla vastaavat luvut ovat olleet 2,36 ja 2,49 mg/L. Siellä kuvaaja on lähes normaalisti jakautunut kun taas koko maan aineistossa, jossa rapakivialueiden vaikutus epäilemättä näkyy, jakauma on arseenin tapaan epäsymmetrinen ja positiivinen. Joukossa on toisin sanoen selvästi keskiarvoa korkeampia havaintoja. Rengaskaivoissa korkeat fluoridipitoisuudet löytyvät lähes ainoastaan rapakivialueilta, mutta porakaivojen tapauksessa kuva on paljon hajanaisempi. (Lahermo ym. 2002, 20) Jopa neljän milligramman pitoisuuksia on löytynyt rapakivialueen ulkopuolelta useita, myös Keurusselän alueelta. Eräänä fluoridin lähteenä voivat olla kallion rakopintoja peittävät sekundääriset fluoripitoiset saostumat, joista fluoridia liukenee kalliopohjaveteen. Luonnonvesissä oleva fluoridi on arseenista poiketen peräisin lähes pelkästään geologisista lähteistä. Suuressa kaivo-vesitutkimuksessa 15,8 % Suomen porakaivoista ja rapakivialueilla 77 % ylitti sallitun enimmäisrajan 1,5 mg/L. Fluoridin ja litiumin esiintymisen välillä on porakaivoissa merkitsevä korrelaatio positiivinen ($r=0,56$) (1000, 21). (Lahermo ym. 2002, 20–22) Mutta koska litium ei sisälly vesianalyysipaketteihin, ei tätä tietoa voida hyödyntää etsittäessä niitä kaivoja, joissa fluoria todennäköisemmin esiintyy.

2.3 Kallioporakaivo

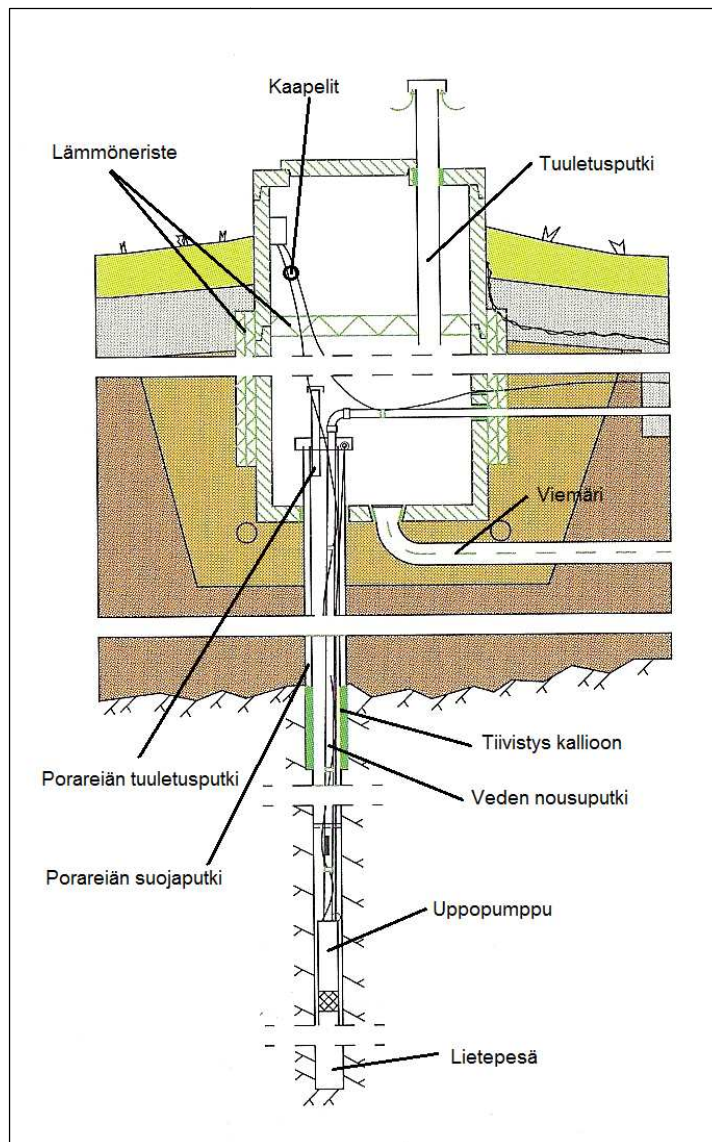
Porakaivo on kallioon porattu 20–150 metrin syvyinen reikä, joka on yleisimmin syvyydeltään 20–50 metriä. Halkaisijaltaan porareikä on 14–15 cm. Yhdellä pumppauksella porareikästä tulisi saada 50–100 litraa vettä. Yleensä kyseinen kerta-antoisuus riittää sillä porakaivot ovat tyypillisesti yksittäistalouden kaivoja. (Lapinlampi 2001, 39 ja 46). Myös yhdyskuntien vedenhankinnassa on kallioporakaivoja jossain määrin käytetty. Esimerkiksi Leppävirralla Pohjois-Savossa oli vuonna 2005 käytössä kahdeksan kallioporakaivoa, joiden antoisuus on ollut enimmillään 1500 m³/vrk (Kinnunen 2005, 34). Yhdyskuntien vedenhankintaa toteuttaessa käytössä on riittävästi resursseja ja ammattitaitoa, jolloin lopputuloksena saadaan riittävä määrä hyvälaatuista

pohjavettä. Esimerkiksi antoisan ruhjealueen paikantamiseen voidaan käyttää laajaa valikoimaa geofysikaalisia menetelmiä. Tämä on tärkeää, sillä mikäli vettä halutaan riittävästi, on ruhje paikannettava muutaman metrin tarkkuudella. Myös muuta geologista perusosaamista tarvitaan, jotta riskialttiita kivilajeja voidaan välttää. Tällöin mm. mustaliuskeet, sulfidipitoiset kivilajit ja eräät graniittiset kivet voidaan suoraan jättää tutkimusten ulkopuolelle. Näiden kivilajien pohjavesissä esiintyy usein liikaa radonia, uraania ja fluoridia. (Kinnunen 2005, 34). Tehtäessä yksittäistalouden kaivoa edellä mainittuja asioita ei yleensä huomioida. Syynä on useimmiten tiedon ja taloudellisten resurssien puute, mutta myös se, että kaivo on pakko rakentaa tietyn alueen sisäpuolelle. Aluetta rajoittavat luonnollisesti tontin koko ja rakennusten sijainti.

Kallioporakaivossa ongelmana on, ettei antoisuutta tai vedenlaatua voida etukäteen tietää. Vaikka kaivontekijät antavatkin yleensä vesitakuun, voi antoisuus jäädä silti melko heikoksi. Antoisuutta pyritään parantamaan vedenpaineaukaisulla, joka avartaa kallioperän rakoja (Lapinlampi 2001, 39). Mikäli vettä saadaan riittävästi, jää ongelmaksi veden laatu. Yleisimmät laatuongelmat liittyvät raudan ja mangaanin korkeaan pitoisuuteen, mutta myös muita kemiallisia ongelmia esiintyy rengaskaivoja enemmän. Näitä ovat esimerkiksi tässä työssä käsiteltävät arseeni-fluoridi sekä muista kemiallisista tekijöistä uraani ja radon. Näistä jälkimmäisen mediaanipitoisuus on porakaivoissa yli kymmenkertainen ja uraanin noin kahdeksankertainen rengaskaivoihin verrattuna (Lahermo ym. 2002, 18–19). Itse asiassa kaikista yleisimmin tutkittavista komponenteista vain koliformisten bakteerien ja nitraatin pitoisuudet ovat rengaskaivoissa selvästi korkeammat kuin porakaivoissa (Isomäki ym. 2006, 87). Nitraatin pitoisuudet ovat rengaskaivoissa noin kymmenkertaisia porakaivoihin verrattuna (Lahermo ym. 2002, 18–19).

Porareikään asennetaan kallion yläpintaan tiivistetty ja irtaimet maalajit läpäisevä suojaputki. Tiivistyksellä estetään pintavesien valuminen kaivoon. Porakaivon yläosaan rakennetaan yleensä myös huoltokaivo, jonka sisällä mm. putkiliitokset, kaapelit ja porareiän tuuletusputki ovat näkyvillä. Suomen ilmasto-oloissa huoltokaivossa joudutaan käyttämään lämmöneristettä, johon tehdään läpivienti huoltokaivon tuuletusputkelle. Kaivon ulkopuolella käytetään routaeristettä. Porareikään lasketaan uppopumppu kaapeleineen ja veden nousuputki. Hyvin tehdyssä huoltokaivossa on myös viemäri mahdollisten pintavesien ohjaamiseen kaivon ulkopuolelle. Pumpun alapuolelle

jätetään lietetilavuutta 2–10 metriä. (Lapinlampi 2001, 39 ja 123). Huoltokaivolla varustetun kallioporakaivon poikkileikkaus nähdään kuvassa 3.



KUVA 3. Porakaivo (Suomen ympäristökeskus 2006, muokattu).

3 ARSEENIN JA FLUORIDIN POISTO

Arseenin ja fluoridin poistamiseen kaivovedestä käytetään etupäässä kalvosuodatusta tai adsorptioon perustuvia massoja. Molemmat aineet voidaan siten poistaa samoilla vedenkäsittelymenetelmillä. Vesianalyysien perusteella niiden haitallinen esiintymi-

nen samanaikaisesti on kuitenkin harvinaista. Puhdistusratkaisua valittaessa on otettava huomioon myös muiden aineiden esiintyminen vedessä. Näistä yleisimmät ovat rauta ja mangaani. Niiden poistoon kotitalouskäytössä suositaan katalyyttisiä massoja. Raja-arvot ovat samat kuin asetuksen 401/2001 mukaiset laatusuosituksot eli raudalle 0,2 mg/L ja mangaanille 0,05 mg/L:ssa. Mikäli puhdistusmenetelmänä on kalvosuodatus, on veden esikäsittely välttämätöntä em. raja-arvojen ylittyessä.

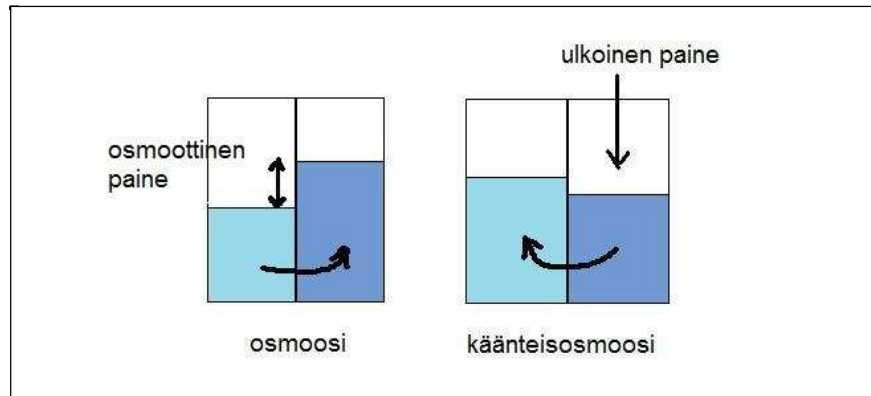
Kalvosuodatuksessa vesi pakotetaan ohuen kalvon läpi. Menetelmä jaetaan mikro-, ultra- ja nanosuodatukseseen sekä käänteisosmoosiin. Käänteisosmoosissa käytetään suurinta painetta ja sen suodatusteho on luetelluista paras. Käänteisosmoosi on erittäin tehokas suolanpoistaja (mm. kloridi-ioni) ja sitä käytetään yhä kasvavassa määrin suolanpoistoon silloin kun merivedestä halutaan valmistaa juomakelpoista vettä. Adsorptiomassat ovat kotitalouskäytössä useimmiten alumiinioksideoja (Liponkoski 2000, 25) tai ferrihydroksideoja (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 106). Myös suomalainen Kemira on valmistanut ferrihydroksidia, jonka käytöstä kalliopohjavedelle saatiin hyviä tuloksia RAMAS-hankkeen yhteydessä tehdyissä puhdistuskokeissa (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 106). Alumiinioksidia voidaan käyttää sekä arseenin että fluoridien poistossa, ferrihydroksidia vain arseenin poistoon (Suomen ympäristökeskus 2011 a)

3.1 Käänteisosmoosi

Luonnossa systeemit pyrkivät tasapainotilaan. Osmoosissa tämä näkyy siten, että astiassa, jonka puoliläpäisevä kalvo jakaa puhtaan liuottimen ja väkevämmän liuoksen osiin, tapahtuu liuottimen molekyölien siirtymistä kalvon läpi liuoksen puolelle. Toiseen suuntaan siirtyminen ei ole mahdollista. Ajan kuluessa liuoksen tilavuus kasvaa ja liuottimen vähenee. Systeemi on tasapainossa siinä vaiheessa kun nesteiden pinnan korkeudet eivät enää muutu. Koska liuoksen puolella nestepinta on korkeammalla, vallitsee siinä myös suurempi hydrostaattinen paine. Kalvon eri puolilla olevien paineiden erotus on sama kuin osmoottinen paine. Ilmiöllä on erittäin tärkeä rooli elävän luonnon solubiologisissa tapahtumissa.

Käänteisosmoosissa ilmiö pakotetaan tapahtumaan toiseen suuntaan. Siinä puoliläpäisevä kalvo toimii filtterinä, joka läpäisee liuottinmolekyölejä. Kun väkevämmän liuoksen puolelle asetetaan paine, joka on suurempi kuin osmoottinen paine, alkaa kää-

teisosmoosi. Ulkoinen paine aiheuttaa liuottimen poistumista liuoksesta ja nestetilavuus liuottimen puolella alkaa kasvaa. Kuvasta 4 nähdään yksinkertaistettuna osmoosin ja käänteisosmoosin periaatteet.



KUVA 4. Osmoosissa liuotinmolekyylejä siirtyy liuoksen puolelle. Käänteisosmoosissa ulkoinen paine pakottaa liuotinmolekyylejä vastakkaiseen suuntaan.

Kotitalouskäyttöön on nykyään saatavilla suhteellisen pienikokoisia ja tehokkaita laitteita. Koska laitteiden kapasiteetti on kuitenkin rajallinen, ei kaikkea rakennuksessa käytettävää vettä ole tarkoituksenmukaista puhdistaa, vaan ainoastaan juomiseen ja ruoanlaittoon käytettävä vesi. Tällöin on järkevintä asentaa puhdistuslaitteisto tiskipöydän alakaappiin, jolloin keittiön hanasta saadaan puhdistettua vettä. Peseytymiseen tai muuhun toimintaan voidaan raja-arvot ylittävää arseeni- tai fluoridipitoista vettä käyttää vapaasti. Kuvassa 5 on erään valmistajan käänteisosmoosilaitteisto. Laitteisto tuottaa vettä 50–100 L/vrk, joten sen kapasiteetti riittää suuremmankin ruokakunnan juoma- ja ruokavedeksi. Puhtaan veden tuotto on 20–25 % syöttöveden määrästä. Käänteisosmoosilla puhdistetun veden hinta on Suomen ympäristökeskuksen (2011 b) mukaan 0,07–0,1 €/L.

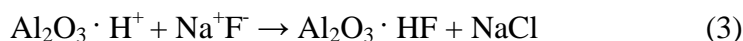
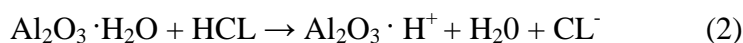


KUVA 5. Eräs kotitalouskäyttöön tarkoitettu käänteisosmoosilaitteisto.

3.2 Alumiinioksidi

Adsorptioherkkyys kuvaa minkälainen taipumus aineella on tarttua adsorbentin pintaan. Kyseinen taipumus on aineelle ominainen ja riippuu sen kemiallisista ominaisuuksista. Fluoridilla on voimakas affiniteetti alumiinioksidiin (Al_2O_3), joka voi esiintyä kemiallisesti erilaisissa muodoissa. Parhaiten absorboiva muoto on gamma-alumiinioksidi ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$). Fluoridi on aineiden välisessä reaktiossa anioni ja alumiinioksidi kationi. Aineet on kirjallisuudessa jaoteltu tarttumisherkkyytensä perusteella ioninvaihtosarjoihin, joissa niiden järjestykset poikkeavat hieman toisistaan. Voimakkain adsorptioherkkyys on hydroksidi-ionilla (OH^-). Fluoridi (F^-) on eri lähteissä sijoilla 2–4. Arseenin paikka on ollut eniten liikkuva. Joissain tutkimuksissa se on fluoridin edellä, toisin sanoen sen affiniteetti alumiinioksidiin on suurempi ja joissain tutkimuksissa fluoridia pienempi. Hapettuneemman arsenaatin (AsO_4^{3-}) affiniteetti on suurempi kuin arseniitin (AsO_3^{3-}). (Liponkoski 1999, 15–16).

Alla on esitetty alumiinioksidin ja fluoridin välinen ioninvaihtoreaktio. Koska hydroksidi-ionin affiniteetti alumiinioksidiin on fluoridia voimakkaampi, täytyy reaktio suoritaa happamissa olosuhteissa kahdessa vaiheessa. Reaktioyhtälössä 2 muuttuu kidevedellinen alumiinioksidi happamaksi ja yhtälössä 3 muodostuu sidos fluoridin ja happon välille. Lisäksi syntyy natriumkloridia eli ruokasuolaa. Tarkkaan ottaen suolaa ei muodostu, vaan ionit jäävät vesiliuokseen.



Mikäli fluoridin sijalla on arseeni, on reaktioyhtälö muuten sama, mutta fluoridi korvautuu esimerkiksi arsenaatilla (AsO_4^{3-}).

Taulukossa 1 on vertailtu käänteisosmoosilaitetta ja massasuodatinta toisiinsa. AA- tai FE-suodattimen suurin heikkous lienee siinä, että käytetty massa on ongelmajätettä. RO-laitteen ongelmana puolestaan lienee veden suodattuminen jopa liiallisessa määrin, jolloin siitä poistuu myös tärkeitä mineraalisuoloja. Massasuodattimen käyttö on jonkin verran RO-menetelmää halvempaa sillä vesilitran hinnaksi tulee 0,05–0,07 €.

TAULUKKO 1. Käänteisosmoosin ja massasuodattimien vertailua (SYKE 2011).

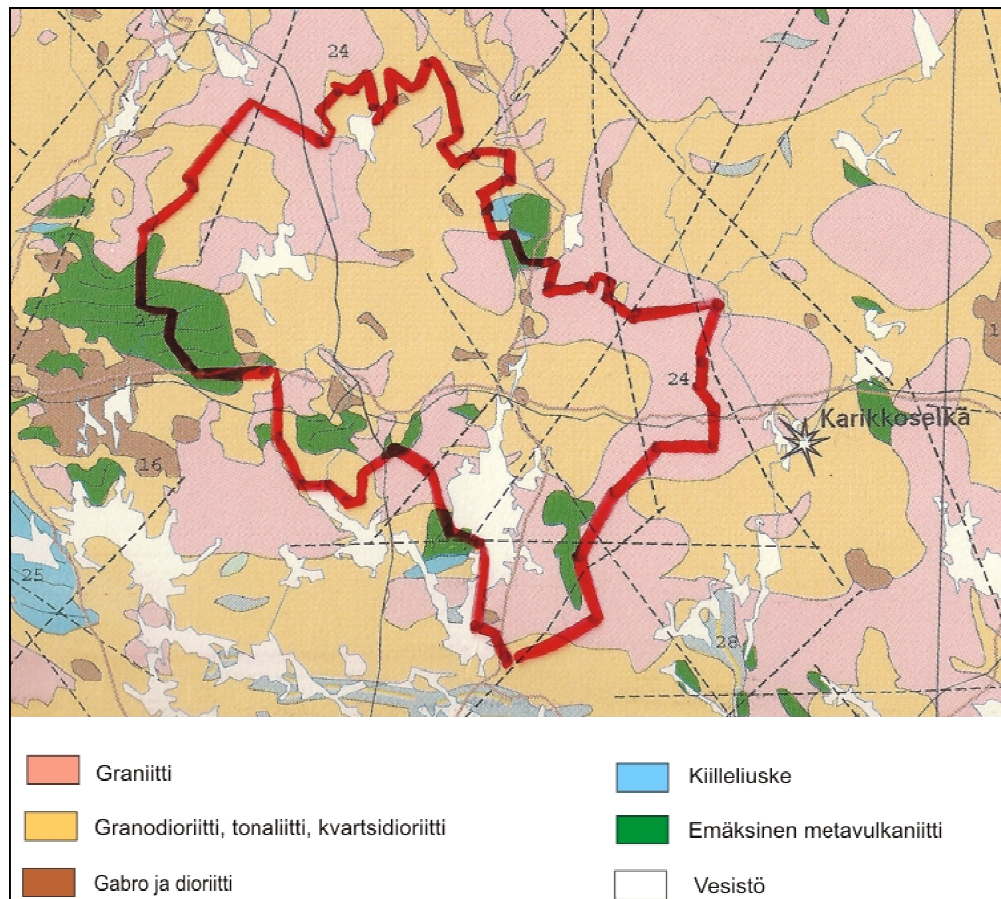
	Käänteisosmoosilaitte (RO)	Massasuodatin (AA tai FE)
Veden laatu	Sadeveden luokkaa. Poistaa kaikki haitalliset yhdisteet, kuten arseenin, fluorin, uraanin ja nitraatin.	Hyvää talousvettä, suurin osa mineraalisuoloista tallella. Poistaa arseenin, fluorin (AA) ja uraanin (AA), ei nitraattia.
Toimintavarmuus	Suhteellisen varma	Erittäin varma
Mekaaninen rakenne	Monimutkainen, mutta peruslaitteessa ei ole liikkuvia osia. Paineenkorotuksella varustetussa lisänä pumppu.	Hyvin yksinkertainen
Asennus	Melko helppo	Helppo
Huollettavuus	Helppo, suodatinpatruunat ja kalvot voi vaihtaa itse.	Massan voi vaihtaa itse, suositellaan kuitenkin huoltoliikettä.
Jätteet	Kalvot ja suodatinpatruunat ovat sekajätettä. Rejektivesi voidaan johtaa maaperään tai viemäriin.	Loppuun käytetty arseenipitoinen massa on ongelmajätettä, mutta fluoripitoinen massa (AA) voidaan hävittää sekajätteen mukana.
Tarkkailu	Laitteen toimintaa voidaan seurata yksinkertaisella johtokyky mittauksella.	Arseeni- tai fluorianalyysi (AA) puolen vuoden välein tai laskettuun kapasiteettiin perustuva massanvaihto.
Eräiden aineiden vaikutus	Rauta ja mangaani vaativat poiston ennen suodatusta.	Arseeni, fluori, fosfaatti ja sulfaatti kuluttavat AA-massan kapasiteettia

4 ALUEEN GEOLOGIA

Keuruu, Mänttä-Vilppula, Ruovesi ja Virrat sijaitsevat syväkivialueella, josta käytetään nimitystä Keski-Suomen granitoidikompleksi. Kompleksin kallioperä koostuu enimmäkseen noin 1900 miljoonaa vuotta vanhoista granitoideista, mutta joukossa on laajoina saarekkeina myös muita kivilajeja. Näitä ovat muun muassa Svekofenniset metavulkaniinit, svekofenniset migmatiitit sekä gabrot ja dioriitit. (Nironen 1998, 239-245). Granitoidit ovat yhteisnimitys kivilajeille, joihin kuuluvat graniitit, granodioriitit ja tonaliitit. Päämineraalien maasälpien ja kvartsien lisäksi mukana on vaihtelevia määriä tummia mineraaleja. Mineraalien määräsuhteet muuttuvat graniiteista

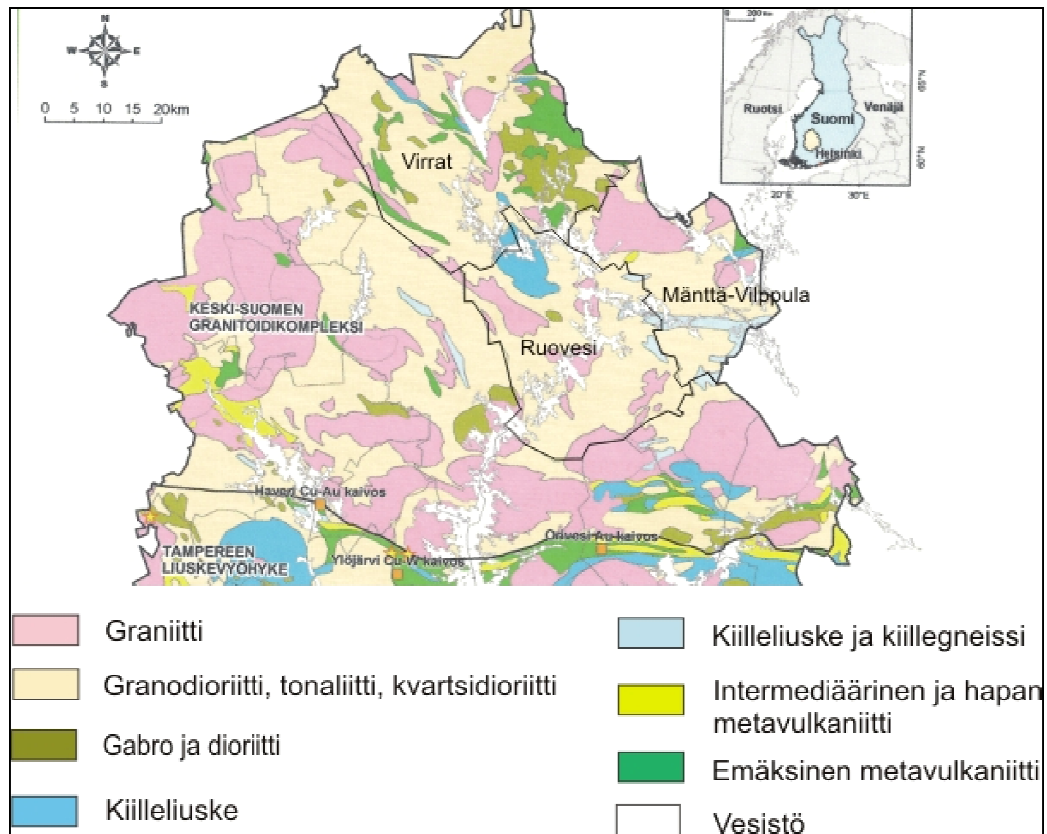
tonaliitteihin mentäessä siten, että tummien mineraalien suhteellinen osuus kasvaa ja kalimaasälvän osuus vähenee. Graniiteissa on siten kalimaasälpää, kvartsia, plagioklaasia ja yleensä vähän biotiittia. Granodioriitissa on plagioklaasia, kalimaasälpää, kvartsia ja biotiittia. Tonalitista löytyy samoja mineraaleja, mutta edellisten lisäksi siinä on huomattavia määriä sarvivälkettä. (Hytönen 1999, 13-16). Keski-Suomen granitoidikompleksin kivien geokemiallinen luonne tunnetaan melko heikosti vähäisen analyysimäärän vuoksi, mutta alueen länsiosista on tavattu rapakiviä muistuttavia graniitteja, jotka sisältävät mm. fluoriittia aksessorisena mineraalina. (Nironen 1998, 241-242). Granitoidikompleksin sisällä on monia erikokoisia liuske- ja gneissialueita, jotka vastaavat kivilajiseurueiltaan tyyppiä, jossa on runsaasti metavulkaniitteja sekä vaihtelevia määriä metasedimenttejä. (Kähkönen 1998, 208-209). Vastaavista kivilajeista on tavattu Pirkanmaan keskiosien yli kulkevasta Tampereen liuskevyöhykkeestä runsaasti arseenia sisältävää pohjavettä. Samaa kivilajia löytyy Virtain länsiosista, Keuruun Haapamäeltä ja Mänttä-Vilppulan Kolhosta.

Keuruun kallioperä on valtaosiltaan granodioriittia, tonaliittia ja kvartsidioriittia (kuva 4). Toiseksi yleisin kivilaji on graniitti, jota on runsaasti kunnan itäosissa, etelässä Keurusselän ympäristössä sekä luoteisosissa Haapamäki-Ähtäri – radan ja Pihlajaveden molemmin puolin. Emäksistä metavulkaniittia on Haapamäen länsi- ja itäpuolella, idässä Keuruun ja Petäjäveden rajalla sekä kunnan länsiosassa, jossa suuri yhtenäinen esiintymä ulottuu pitkälle Virtain puolelle. Kyseinen esiintymä on selkeästi suurin koko Keurusselän alueella. Pienempiä alueita metavulkaniittia on lounaassa ja koillisessa. Gabroa ja dioriittia esiintyy pieninä saarekkeina muun muassa Keuruun keskustajaman läheisyydessä ja siitä pohjoiseen sekä Haapamäellä.



KUVA 4. Keuruun kallioperä (Korsman ym. 1997, muokattu).

Suurin osa Mänttä-Vilppulan pohjoisosien kallioperästä Ukonselän ja Tarjanneveden välissä on graniittia (kuva 5). Pohjaslahden alueella on intermediääristä ja hapanta metavulkaniittia sekä kiilleliusketta. Mäntän ja Vilppulan taajamien kohdalla kulkee muutamien kilometrien levyisenä vyömäisenä esiintymänä kiilleliuskeen ja kiillegneissin vyöhyke. Se leviää idässä siten, että kattaa kunnan kaakkoisreunan kokonaisuudessaan. Sama vyöhyke jatkuu jonkin matkaa Ruoveden puolelle. Kolhon taajaman itäpuolella olevan Kaijanselän ja Keurusselän vesialueiden välisellä, noin viiden kilometrin levyisellä niemellä on kallioperä keskellä kiilleliusketta ja pohjoisessa emäksistä metavulkaniittia. Kaijanselän länsipuolella ja edellä kerrotun niemen eteläosissa on suunnilleen edellisen esiintymän kokoinen graniittimuodostuma. Kunnan muu alue, yli puolet kokonaispinta-alasta on granodioriittia, kvartsidioriittia ja tonaliittia. (Korsman ym. 1997).



KUVA 5. Mänttä-Vilppulan, Ruoveden ja Virtain kallioperä (GTK 2007, muokattu).

Ruoveden kallioperä (Kuva 5) koostuu niin ikään suurelta osin grano- ja kvartsidioriiteista sekä tonaliiteista. Kunnan pohjoisosissa Visuveden ympäristössä on laaja noin 15 km pitkä ja 8 km leveä kiilleliuske-esiintymä. Helvetinjärven kansallispuiston ja kantatie 66 välissä on pienehkö gabron ja dioriitin muodostuma. Kansallispuiston alue, Jäminselän itäpuoli ja kunnan eteläosat ovat suurelta osin graniittia. Idästä työntyy pienelle alueelle kiilleliusketta ja kiillegneissia.

Virtain kallioperä on pääkilvilajien suhteen hyvin vaihtelevaa. Kunnan itäosista löytyy laajoja alueita emäksistä metavulkaniittia sekä gabroa ja dioriittia. Pitkänomaisia esiintymiä kyseisiä kivilajeja on myös Toisveden länsipuolella sekä lähellä Kihniön ja Kurun rajoja. Virtain kuntakeskus on kallioperältään graniittia samoin kuin Toisveden koilliseen ja luoteeseen suuntautuvien pitkien lahtien väliin jäävä niemimaa. Muut alueet ovat kompleksille tyypillistä granodioriittia, tonaliittia ja kvartsidioriittia. (kuva 5).

5 MENETELMÄT

5.1 Paikkatieto-ohjelma

Oleellinen osa työtä olivat paikkatieto-ohjelman MapInfo 8.0 ja taulukkolaskentaohjelman Excel 2007 käyttö. Vesianalyysien tulokset koottiin aluksi Exceliin kuntakohtaisesti. Jokainen kaivo muodosti oman tietueensa, jolle annettiin karttakoordinaattien perusteella sijainti. Sijaintitieto perustui sen kiinteistön osoitteeseen, josta vesinäyte oli peräisin. Kiinteistön osoitteen käytöstä syntyi tässä yhteydessä pientä virhettä, mutta sillä ei ollut käytännön merkitystä käytetyn pohjakartan mittakaavasta johtuen. Kun kallioperäkartan mittakaava on 1:1 000 000, merkitsee se sitä, että 200 metrin etäisyys luonnossa on kartalla vain 0,2 mm. Kyseinen 200 metrin etäisyys voi olla esimerkiksi kiinteistön pihatien liittymän ja asuinrakennuksen vieressä olevan kaivon välinen matka. Näin pientä yksityiskohtaa ei käytetyn mittakaavan kartalla voida esittää. Vastaavasti kartan selkeys, luettavuus ja painotekniikka vaativat joidenkin vektorimuotoisten tietojen kuten vaikkapa maanteiden ja rautateiden esittämisen kartalla huomattavasti paksummalla viivalla kuin mitä ne todellisuudessa ovat.

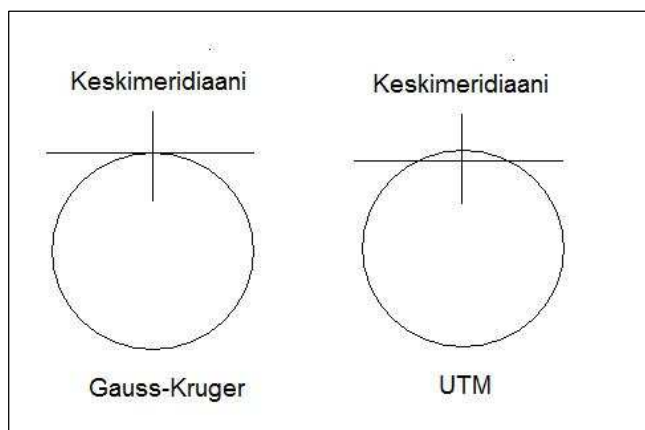
Sijaintitiedon jälkeen samalle Excelin riville kirjattiin arseenin tai fluoridin pitoisuus. Laajasta noin 350 mittaustulosta käsittävästä aineistosta valittiin vain tietyn raja-arvon ylittävät pitoisuudet. Tarkoituksenahan ei ollut esittää tutkittujen aineiden pitoisuuksia sinänsä, vaan ainoastaan etsiä mahdollista selittävää tekijää ylityksille. Arseenin kohdalla raja-arvoksi asetettiin 5 µg/L ja fluoridin 1 mg/L. Näiden arvojen ylittävät pitoisuudet paikkatietoineen siirrettiin omiin taulukoihin kuntakohtaiseen tietokantaan. Seuraavaksi raja-arvon ylitykset jaettiin kahteen luokkaan siten että luokat nimettiin lievästi koholla oleviin pitoisuuksiin ja raja-arvot ylittäviin pitoisuuksiin. Arseenin kohdalla lievästi koholla olevat pitoisuudet olivat 5–10 µg/L ja raja-arvon ylittävät pitoisuudet yli 10 µg/L. Vastaavat arvot fluoridilla olivat 1,0–1,5 mg/L ja yli 1,5 mg/L. Vaikka Suomen lainsäädäntö ei tunnista minkäänlaisia lievästi koholla olevia arvoja, päädyttiin menettelyyn muualla maailmassa olevien suositusten pohjalta. Arseeniin tapauksessa valintaan vaikutti Australiassa omaksuttu raja-arvo 7 µg/L (Lehtinen & Sorvari 2006, 18) ja fluoridin kohdalla puolestaan Yhdysvalloissa käyttöön otettu uusi raja-arvo 0,7 mg/L (HealthCMI 2011). On myös hyvä pitää mielessä, että Suomessa isojen vesilaitosten jakamassa talousvedessä on arseenia enintään 1,0 µg/L, yleensä alle 0,1 µg/L (Lehtinen & Sorvari 2006, 16).

Kahteen pitoisuusluokkaan jakamisen jälkeen jokaisesta Excel-taulukosta luotiin MapInfo8-ohjelmaan oma TAB-muotoinen taulukko. Neljä kuntaa muodosti yhteensä 16 taulukkoa, toisin sanoen kuntakohtaisesti kaksi taulukkoa fluoridille ja kaksi arseenille. Jokaisesta taulukosta luotiin oma karttataso valituilla symboliväreillä. Pohjakarttana käytettiin kallioperäkarttaa mittakaavalla 1:1 000 000. Ylitykset kuvattiin pohjakartan päällä punaisina ympyröinä ja lievästi koholla olevat keltaisina ympyröinä. Selvyyden vuoksi arseeni ja fluoridi esitetään omilla kartoillaan. Vastaavanlainen esitystapa on yleinen pistemäisen tiedon esittämisessä, kun esitettävät asiat ovat lukumääriä tai määrällisiä suureita. Pohjakartan valintaan vaikutti pari tärkeää seikkaa. Ensinnäkin turhaa yksityiskohtien esittämistä haluttiin selkeyden vuoksi välttää. Toisaalta työssä jouduttiin tekemisiin yksityisyyden suojan kanssa. EU direktiivi 2003/4/EC edellyttää yksityisyyden suojaan kuuluvan tiedon pitämistä luottamuksellisena. Aineistoa voidaan sen mukaan julkaista vain tavalla, josta yksittäisen kohteen tai henkilön tunnistaminen on mahdotonta. Tämän työn osalta direktiivi tarkoitti sitä, että tuloksissa ei ole nimi- tai osoitetietoja ja että kartan mittakaava on niin pieni, ettei näytteenottopaikkaa voida tarkasti yksilöidä. Tarkat tulokset osoite- ja nimitietoineen ovat Keurusselän ympäristönsuojeluviranomaisen hallussa, mutta niitä ei esitetä julkaistavassa työssä.

5.2 Karttakoordinaatistot

Pisteiden sijoittamiseen kartalle jouduttiin tekemään runsaasti koordinaattimuunnoksia. Suomen kallioperäkartta 1:1 000 000 on laadittu 70-luvun alussa käyttöön otettuun kartastokoordinaattijärjestelmään (KKJ), joka on lähtökohdiltaan hyvin erilainen kuin nykyisin käytössä oleva ETRS89-koordinaattijärjestelmä. KKJ:n pohjana käytettiin maapalloa kuvaavana pintana Hayford-ellipsoidia kun taas ETRS89 käyttää GRS80-ellipsoidia. Näiden ellipsoidien erot ovat siinä, että maapallon sädettä päivän-tasaajan kohdalla ja maan litistyneisyyttä kuvaavat parametrit ovat erilaisia. Koordinaattijärjestelmässä vertailuellipsoidilla halutaan kuvata mahdollisimman tarkasti Maan pintaa. (Maanmittauslaitos 2010 a). Myös projektio, jolla maan pintaa kuvataan kartalla näissä kahdessa koordinaattijärjestelmässä eroavat. KKJ:ssä käytettiin Gauss-Krüger projektiota, jossa poikittaisasentoinen lieriö sivuaa maan pintaa keskimeridianin kohdalla. Nykyisessä koordinaattijärjestelmässä käytetään UTM-tyypistä, niin ikään poikittaisasentoista, mutta maan pintaa leikkaavaa projektiota. Näiden ero on

siinä, että Gauss- Krügerissä keskimeridiaani kuvautuu oikeanpituiseen viivana, kun taas UTM:ssä ei (kuva 5). Toisaalta projektiovirhettä syntyy molemmissa tapauksissa. Gauss- Krügerissä projektio on siis projektiokaistan keskellä tarkka, mutta virhe kasvaa mitä kauemmas keskimeridiaanista mennään. UTM-projektio on keskellä epätarkka, mutta virhe pienenee mentäessä keskimeridiaanista poispäin. (Maanmittauslaitos 2010 b ja c).



KUVA 5. Karttaprojektioiden vertailua.

Edellä kerrottujen syiden johdosta ETRS89-koordinaattijärjestelmään perustuvaa ETRS-TM35FIN-karttaprojektiota ei voitu suoraan käyttää, vaan järjestelmien yhteensovittamiseksi jouduttiin tekemään koordinaattimuunnoksia vääristymien välttämiseksi. Nykyiset osoitetiedot perustuvat TM35FIN-projektioon, kun taas kallioperäkartta on laadittu kartastokoordinaattijärjestelmään. Kun tunnetun karttapisteen, esimerkiksi valtateiden risteyksen koordinaatit katsottiin Kansalaisen karttapaikka-ohjelmasta ja ne siirrettiin sellaisenaan KKJ-järjestelmän mukaan rekisteröityyn kallioperäkarttaan, oli sijaintivirhe useita prosentteja. Karttapaikka-ohjelmassa tehty koordinaattimuunnos poisti tämän virheen (Maanmittauslaitos 2012 a). Kallioperäkartan rekisteröinti TM35FIN-projektioon olisi ollut virhe, sillä kartta on alun perin tehty Gauss- Krüger-projektioon sekä KKJ-koordinaattijärjestelmään, jossa on alueesta riippuvaisia niin sanottuja jäännösvirheitä.

5.3 Vesianalyysit

Vesianalyysit (15 kpl) tehtiin Jyväskylän kaupungin akkreditoidussa ympäristölaboratoriossa. Arseenin kohdalla laboratorio käyttää standardia SFS-EN ISO 11969-1997 ja fluoridin SFS-EN ISO 103041:1995. Uusia vesinäytteitä tutkittiin yhteensä 14 koh-

teesta arseenin ja yhdestä kohteesta fluoridin osalta. Näytteet otettiin 1 litran polyeteenipulloihin. Asiakkaat ottivat itse näytteet annettujen ohjeiden mukaisesti ja palauttivat pullon terveydensuojelutoimistoon joko Mänttä-Vilppulaan tai Keuruulle. Kemiallisessa määrittäyksessä vesinäytteen säilyvyysaika ei ole niin läheskään kriittinen kuin bakteeritutkimuksissa. Monissa ohjeissa (mm. Isomäki ym. 2007) kerrotaan arseenin ja fluoridin säilyvyyden olevan 7 päivää. Jyväskylän ympäristölaboratorion suositusten mukaan säilytysaikaa kuitenkin lyhennettiin 3–4 päivään. Laboratorio kestävöi näytteet heti kun ne olivat saapuneet. Tällä toimenpiteellä varmistettiin näytteiden säilyvyys, mikäli analyysia ei päästy heti aloittamaan. Laboratorion mukaan arseenin tutkiminen on yksi eniten työvaiheita sisältävistä ja teknisesti vaativimmista vesianalyyseistä. Kestävöintiä käytetään arseenin kohdalla usein, sillä määrittäyksen monimutkaisuudesta johtuen pelkästään yhtä näytettä ei lähdetä mielellään analysoimaan, vaan ajoon halutaan useita näytteitä samanaikaisesti. Tällöin näytteitä voidaan tutkia sarjatyönä, jolloin säästetään sekä analyysikustannuksissa että yksikköä kohden muodostuvassa työajassa. (Sahi 2012).

Laboratorio toimitti tulokset sekä terveydensuojeluviranomaiselle että kaivon käyttäjälle, toisin sanoen kiinteistön omistajalle tai haltijalle. Terveydensuojeluviranomainen on velvollinen arkistoimaan tutkimustulokset ja säilyttämään niitä vähintään kymmenen vuotta. Tulokset on kirjattu tietokantoihin keskimäärin vuodesta 2007 lähtien sähköisesti ja sitä vanhempia säilytetään paperiarkistoina. Kirjauskäytännöissä on kuitenkin ollut suuria kuntakohtaisia eroja.

Terveydensuojeluviranomaisen sähköisistä tietokannoista tai paperiarkistoista löytyi runsaasti analyysituloksia kunnasta riippuen vuosilta 1998–2000 alkaen. Ruoveden ja Virtain osalta vesianalyysit on tehty Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen, Tampereen kaupungin tai Analycen-yhtiön laboratoriossa. Keuruu ja Mänttä-Vilppula ovat käyttäneet lähes pelkästään Jyväskylän kaupungin ympäristölaboratoriota. Opinnäytetyötä varten käytiin läpi kaikki sähköiset tietokannat ja paperiarkistot vuodesta 2000 alkaen. Näin käyttöön saatiin yhteensä 304 analyysia, joista 137 arseenille ja 167 fluoridille. Arkistoista löytyi vesinäytteitä kaikkiaan lähes 400 kpl, mutta lähempi tarkastelu osoitti, että samoista kohteista oli otettu vuosien mittaan useita näytteitä. Jostain jopa viisi kertaa. Uusia vesinäytteitä tutkittiin 15 kpl.

6 TULOKSET

6.1 Tilastolliset tunnusluvut

Tutkimukseen voitiin sisällyttää niin laaja aineisto, että tilastollisten tunnuslukujen esittäminen on perusteltua. Tuloksissa taulukon 1 mukaan kiinnittyy huomio muutama seikkaan. Arseenin mediaani on nolla, joka on periaatteessa mahdotonta. Luku selittyy sillä, että tulokset pyöristettiin yhden desimaalin tarkkuuteen ja kaikki alle määritysrajan 0,05 µg/L olevat tulokset muutettiin nollassi. Perusteena oli se, että aineiston vanhimmat tulokset oli saatu 0,1 µg määritysrajan menetelmällä. Näin tulosten moodiksi muodostui nolla niiden yhteismäärän ollessa peräti 99 kappaletta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että 99 vesinäytteessä on arseenipitoisuus määritysraja huomioonottaen likipitään nolla. Arseenin keskiarvo on kuitenkin 2,7 µg/L, mikä tarkoittaa sitä, että joukossa on muutamia erittäin korkeita pitoisuuksia. Korkein yksittäinen pitoisuus 175 µg litrassa on mitattu Ruovedellä. Myös aineiston toiseksi korkein tulos 46 µg on Ruovedeltä. Kolmanneksi suurin pitoisuus saatiin hieman yllättäen Mänttä-Vilppulan puolelta uusien vesianalyysien joukosta. Sen tulos oli 25 µg litrassa. Arseenin kohdalla vinous ja keskihajonta ovat erittäin suuret kuvaten sitä, että tulokset painottuvat määrällisesti nollan tuntumaan.

TAULUKKO 1. Tutkimusalueen tilastolliset tunnusluvut.

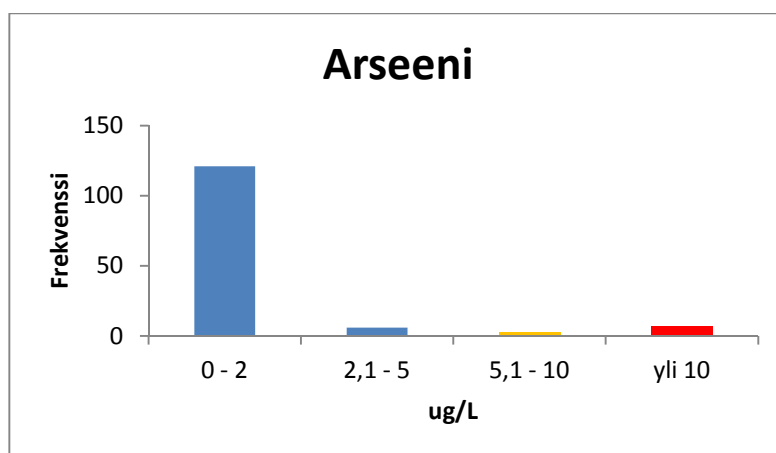
	As (µg / L)	F- (mg / L)
Keskiarvo	2,7	0,9
Mediaani	0	0,6
Minimi	0	0
Maksimi	175	5,3
Keskihajonta	15,7	0,9
Vinous	10,0	1,8
Lukumäärä	137	167

Fluoridin tunnusluvut muistuttavat enemmän normaalijakaumaa. Keskiarvo ja mediaani ovat varsin lähellä toisiaan. Vinous on positiivinen 1,8 kertoen siitä, että keskiarvoa pienempiä mittaustuloksia on kuitenkin enemmän kuin keskiarvoa suurempia. Myös keskihajonta on arseenin verrattuna pieni. Kaikki nämä tunnusluvut kuvaavat selkeästi sitä kuinka fluoridin jakauma on symmetrisempi kuin arseenin. Tulosten

jakaumasta saa selkeämmän kuvan taulukoiden 2 ja 3 avulla, jossa aineistot on luokiteltu. Kuvissa 6 ja 7 nähdään vastaavat graafiset esitykset.

TAULUKKO 2. Arseenitulosten jakauma.

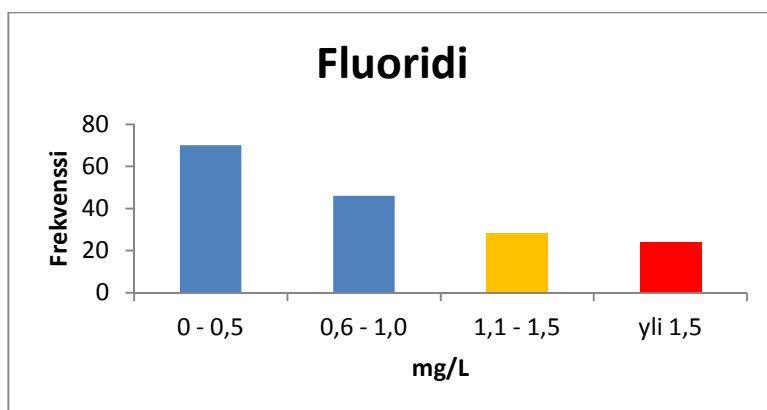
<i>As (µg / L)</i>	<i>Frekvenssi</i>
0 - 2	121
2,1 - 5	6
5,1 - 10	3
yli 10	7



KUVA 6. Analyysitulosten jakauma arseenille.

TAULUKKO 3. Fluoriditulosten jakauma.

<i>F (mg / L)</i>	<i>Frekvenssi</i>
0 - 0,5	70
0,6 - 1,0	46
1,1 - 1,5	27
yli 1,5	24

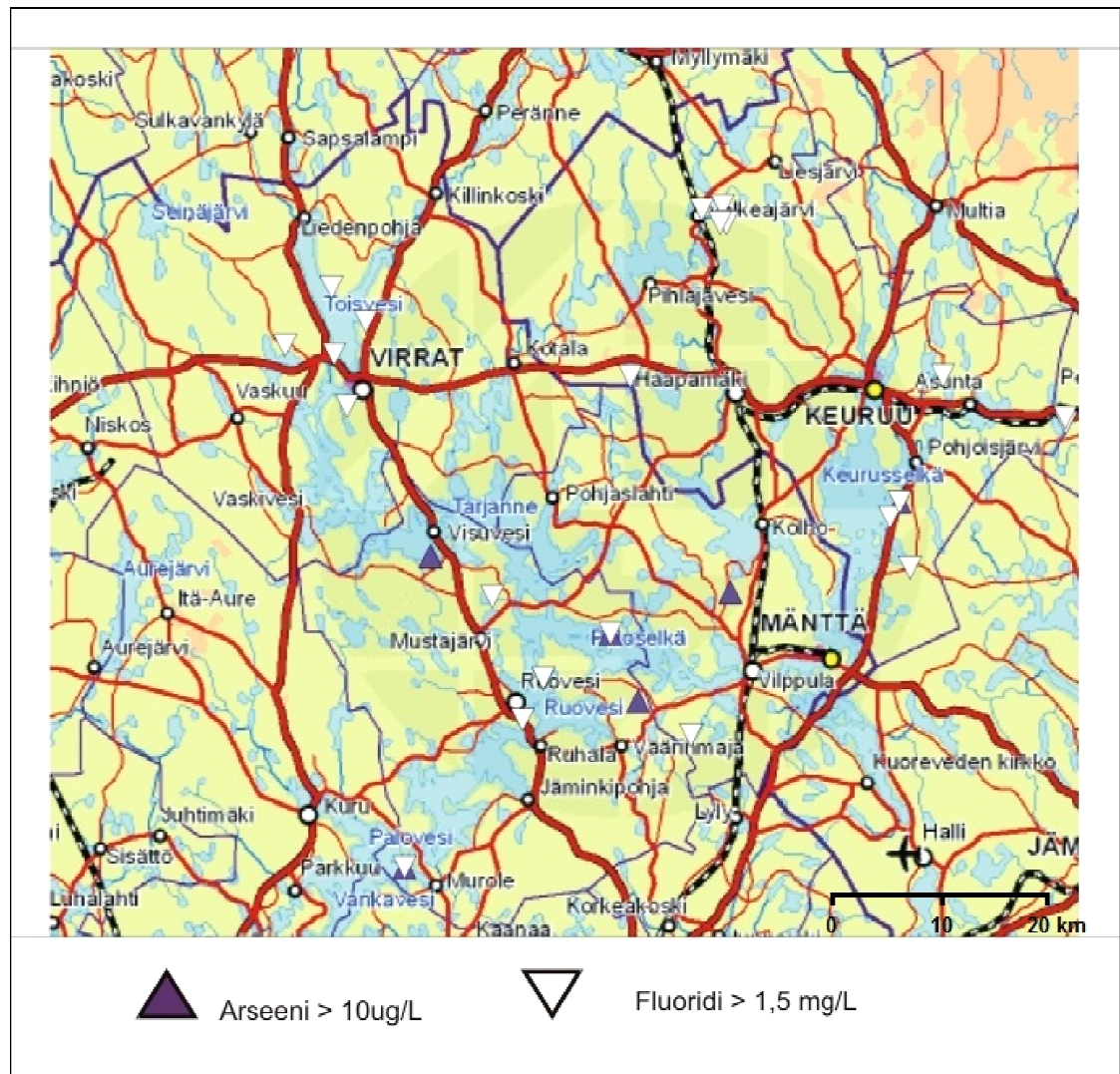


KUVA 7. Analyysitulosten jakauma fluoridille.

6.2 Alueellinen esiintyminen

Sekä arseenin että fluoridin ylitykset nähdään yleiskartalle sijoitettuna kuvasta 8. Kuvan perusteella voidaan fluoridin osalta todeta, että Virtain keskustan länsi- ja pohjoispuolelta on ollut ylityksiä jonkin verran. Myös Keurusselän itäpuolelta on saatu ylityksiä. Kaikkein selkein keskittymä on kuitenkin Keuruun Pihlajavedeltä koilliseen olevalla Valkeajärven alueella. Sieltä on saatu neljä yli 1,5 mg:n tulosta suhteellisen suppealta alueelta. Kaikkialla muualla ylitykset ovat luonteeltaan hajanaisia.

Fluoridin ylityksistä yksitoista sijaitsee Keuruulla, Virroilla ja Ruovedellä molemmissa viisi ja Mänttä-Vilppulassa yksi. Arseenin ylityksiä oli vain seitsemän ja ne näyttävät jakautuvan sattumanvaraisesti isolle alueelle. Kartan mittakaavasta johtuen jää kuitenkin näkemättä, että Virtain ja Ruoveden puolivälissä sijaitsevan Visuveden lähellä on itse asiassa kaksi arseeniylitystä päällekkäin. Näiden pisteiden välinen etäisyys, joista korkeampi on 46 µg ja matalampi 21 µg/L:ssa, on vain noin 100 metriä. Ruovedellä sijaitsee ylityksistä viisi, Mänttä-Vilppulassa ja Keuruulla molemmissa yksi.

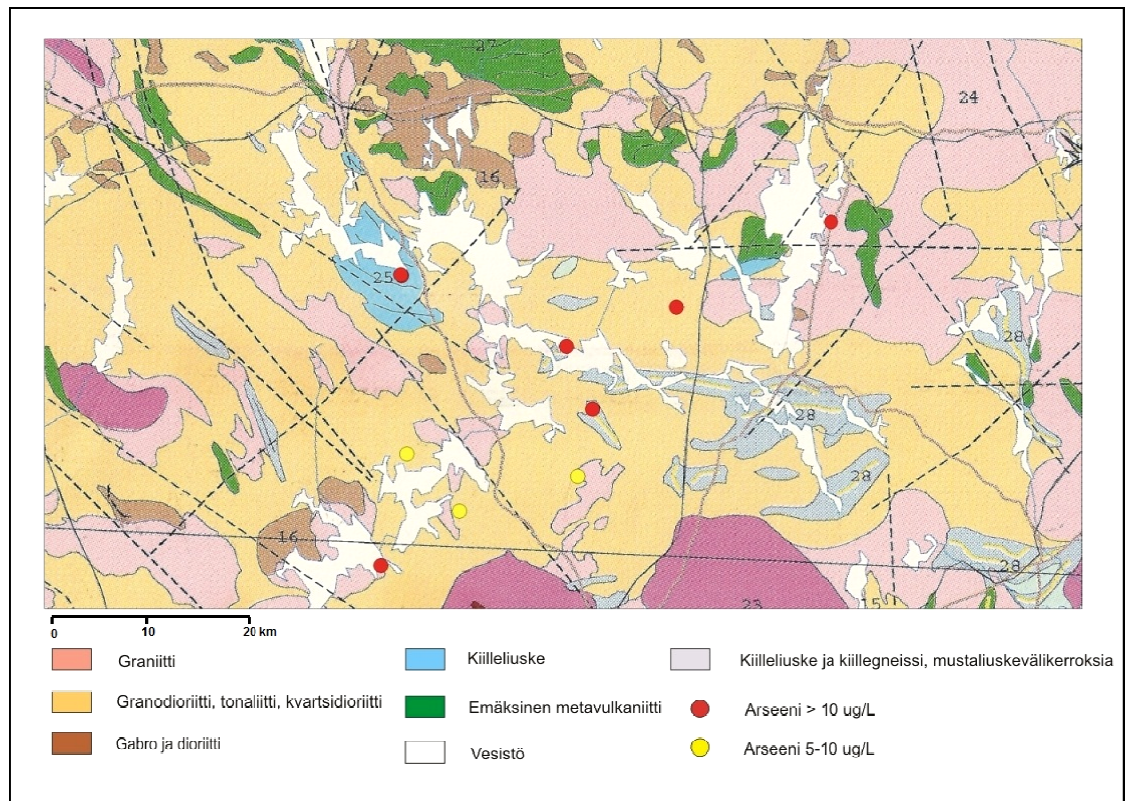


KUVA 8. Arseenin ja fluoridin ylitykset yleiskartalle sijoitettuna.

Arseeni

Kallioperäkartalla arseenin ylityksiä esiintyy neljä kertaa kiilleliuskeessa tai kiilleliuske-kiillegneississä. Yksi ylitys löytyy graniitin ja granodioriitin rajalta, yksi granodioriitista ja yksi graniitista. Lievästi koholla olevat tulokset ovat kahdesti graniitin ja granodioriitin rajalta ja kerran granodioriittisen alueen keskeltä (kuva 9). Ylitysten osalta tulokset ovat samansuuntaisia kuin esimerkiksi Ramas-hankkeessa. Metavulkaniitit ja liuskeet olivat siellä yleisimmät arseenipitoista pohjavettä sisältävät kivilajit. Graniittisissa kivissä ei todettu ylityksiä merkittävässä määrin. (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 32). Yleisesti ottaen voidaan todeta, että arseenin esiintyminen ei ole yleinen ongelma Keurusselän tutkimusalueella. Vain 5% kaivoista ylitti raja-arvon 10 µg/L, kun vastaava luku Pirkanmaalla oli 22,5 % (Loukola-Ruskeeniemi

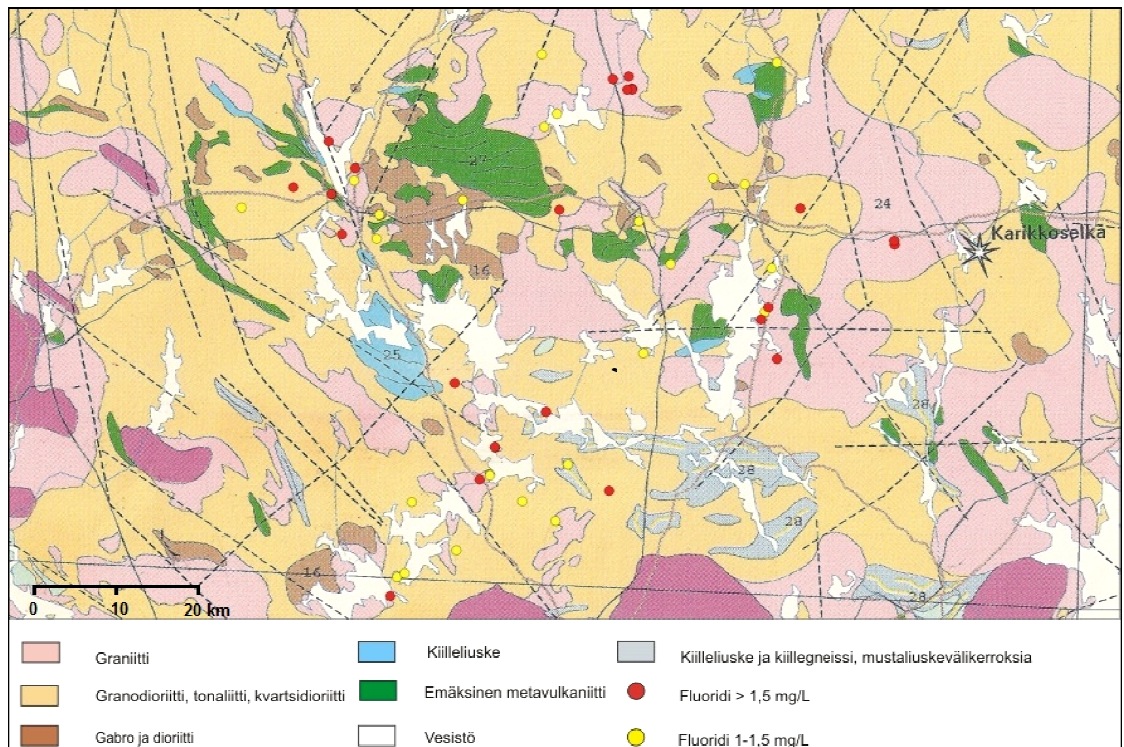
ym. 2007, 31). Koko maan kattavassa aineistossa arseenin raja-arvon ylityksiä oli 3%:ssa (Lahermo ym. 2002, 83).



KUVA 9. Raja-arvon ylittävät ja lievästi koholla olevat arseenitulokset kallioperäkartalla.

Fluoridi

Kallioperäkartalla fluoridin ylityksiä esiintyy graniitin alueella neljätoista ja granodioriittisella kallioperällä seitsemän kertaa. Yksi ylitys on näiden rajalla ja voidaan siten lukea kumpaan tahansa kuuluvaksi. Toisella tulkinnalla luvut olisivat siten graniitissa kolmetoista ja granodioriitissa kahdeksan. Niin ikään metavulkaniitin ja graniitin rajalla on yksi ylitys. Mikäli myös tämä laskettaisiin graniittialueelle kuuluvaksi, saadaan graniittiin ylityksiä viisitoista kertaa. Koholla olevia arvoja on graniitissa kuusi ja granodioriitissa kaksitoista. Gabron ja dioriitin alueella on kolme ylitystä ja kiilleliuskeessa yksi. Metavulkaniittiin sijoittuu kaksi, mutta myös nämä ovat rajalla siten, että toinen on graniittisen ja toinen granodioriittisen kallioperän rajalla.



KUVA 9. Raja-arvon ylittävät ja lievästi koholla olevat fluoridipitoisuudet kallioperäkartalla.

7 TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Virhetarkastelu

Kaikkiin mittaustuloksiin liittyy epävarmuutta, jonka suuruutta tai suuntaa ei tarkasti tunneta. Kun useita mittaustuloksia samasta kohteesta yhdistetään, olettaen että mitattava suure ei muutu, saadaan keskiarvo tietyillä virherajoilla. Satunnaisvirheessä tulokset osuvat todellisen arvon molemmille puolille ja mitä lähempänä ne ovat toisiaan, sitä pienemmäksi muodostuvat virherajat. Jos tulokset ovat samaan aikaan sekä lähellä toisiaan että oikeaa arvoa, niiden tarkkuus ja toistettavuus ovat hyvät. Systemaattisessa virheessä tulokset voivat olla hyvinkin lähellä toisiaan, mutta silti kaukana oikeasta arvosta. Tällöin tarkkuus on huono, mutta toistettavuus hyvä. (Jones ym. 2000, 41). Tässä työssä esiintyy näitä molempia, joista systemaattiseen virheeseen voidaan laskea pohjakartan rekisteröinti ja osittain kallioperäkartoitus. Satunnaisvirhettä puolestaan tuottavat osoitteenmuodostus ja vesianalyysit. Seuraavissa kappaleissa on lyhyt katsaus kuhunkin.

Kartan rekisteröinti

Kallioperäkartan rekisteröinti on tehty MapInfo8 Professional- paikkatieto-ohjelman käyttöohjeen mukaisesti. Rekisteröinti voidaan ohjeen mukaan tehdä kolmella vastinpisteellä, mutta ohjelmistovalmistajan suositusten mukaisesti siihen käytettiin paremman tarkkuuden saavuttamiseksi neljää pistettä. Kartan rekisteröintiä varten valittiin neljä vastin pistettä, jotka sijaitsivat tasaisesti tutkittavan alueen ympärillä. Kolme näistä pisteistä oli rautateiden risteyskohtia. Ne sijaitsivat Jyväskylässä, Haapamäellä ja Orivedellä. Neljänneksi vastin pisteeksi valittiin Parkanossa rautatien ylittävä maantiesilta. Rautateitä käytettiin siksi, että ne on painettu kallioperäkartaan ohuella mustalla viivalla ja sen vuoksi erottuvat hyvin myös voimakkaasti suurennetulla rasterikuvalla. Maantiet on painettu karttaan ruskealla, hieman paksummalla viivalla, minkä johdosta ne eivät suurennettuna ole yhtä tarkkarajaisia. Edellä kerrotusta johtuen maanteiden risteukset olisivat olleet kohteina epämääräisempiä. Vastin pisteiden koordinaatit poimittiin Maanmittauslaitoksen Karttapaiikka-ohjelmaa käyttäen mittakaavalla 1:80 000. Skannattu geologinen paperikartta mittakaavalla 1:1 000 000 tuotiin MapInfoon ja rekisteröitiin näiden pisteiden avulla. Ennen analyysitulosten syöttämistä paikkatieto-ohjelmaan, testattiin rekisteröintiä parilla tunnetulla koordinaattipisteellä. Toinen näistä oli Vilppulankosken ylittävä rautatie ja toinen Virroilla sijaitseva kantatie 66:n ja valtatie 23:n risteys. Ympyräsymbolit ilmestyivät odotusten mukaisesti kartalle peittäen kyseiset alueet alleen. Mutta vaikka koepisteet onnistuivat hyvin, on silti todennäköistä, että vastin pisteiden rekisteröinnissä tai kartan skannauksessa on pientä epätarkkuutta, jolla on vaikutusta koordinaattipisteiden sijaintiin. Käytännössä tämä näkyy esimerkiksi siten, että jos karttakuvaa suurennetaan riittävästi – kuva alkaa selvästi pikselöityä – näyttää siltä kuin lähellä rantaa sijaitsevaa kaivoa kuvaavan ympyräsymbolin keskipiste siirtyisi vesistön päälle. Kartan rekisteröinnin aiheuttama paikannusvirhe on varten otettava silloin kun kohde sijaitsee eri kivilajiesiintymien rajalla.

Osoitteenmuodostus

Kaivon paikka on tarkastelussa määritelty kiinteistön osoitteen mukaan. On selvää, että tässä on jouduttu tekemään epätarkkuutta tuottava yleistys. Karttatarkastelussa on ollut mukana noin 60 kaivoa laajalla maantieteellisellä alueella. Ei olisi ollut käytännössä mahdollista käydä paikan päällä tarkistamassa kaikkien näiden porakaivojen karttakoordinaatit esimerkiksi GPS-navigaattorin avulla. Niinpä kaivon sijainti on

tuotettu Maanmittauslaitoksen karttapaikkaohjelman avulla. Kiinteistön osoitehaku on antanut tietyt karttakoordinaatit, joita on samalla pidetty kaivon sijainnin koordinaatteina. Maanmittauslaitoksen (2011 b) mukaan osoite on tienviivaan liittyvä laskennallinen osoite, joka on määritetty metreinä kyseisen tien lähtöpisteestä. Virheen suuruuden selvittämiseksi tehtiin noin kymmenen tarkempaa karttatarkastelua. Siinä lähdettiin oletuksesta, että kaivo sijaitsee normaalisti asuinrakennuksen välittömässä läheisyydessä. Kartan avulla tarkasteltiin rakennusten sijaintia, lähinnä maatilojen asuinrakennuksia sekä Karttapaikkaohjelman antamia osoitteen mukaisia koordinaattipisteitä tielinjalla. Asuinrakennuksen ja koordinaattipisteen väliseksi etäisyydeksi saatiin keskimäärin 100 metriä. Mittakaavan 1:1 000 000 kartalla sama etäisyys on $1 \cdot 10^{-4}$ m eli 0,1 mm. Virhe on keskimäärin niin pieni, ettei sillä ole käytännön merkitystä.

Kallioperäkartoitus

Kallioperäkartta 1:1 000 000 on yleisesitys Suomen kallioperästä. On selvää, että näin pienimittakaavaiseen karttaan on pitänyt tehdä paljon yleistyksiä eikä kovin tarkkoja yksityiskohtia ole voitu siihen sisällyttää. Kallioperäkarttojen 1:100 000 hankintaa harkittiin aluksi, mutta karttoja olisi tarvittu tutkittavalta alueelta peräti 6 kpl eikä niille olisi jatkossa ollut juuri mitään käyttöä. Sen vuoksi päädyttiin käytettyyn 1:1 000 000 mittakaavaan, jonka tarkkuutta pidettiin riskinarviointiin riittävänä. On hyvä pitää silti mielessä, että pienimittakaavaisella kartalla informaatiota on jouduttu vahvasti yleistämään, minkä johdosta jossain paikoissa kivilaji ei ole aina sama kuin mitä kartassa kerrotaan. Oli valitun kartan mittakaava mikä hyvänsä, ainoa täysin varma tapa selvittää mihin kallioperään porakaivo on käytännössä tehty, olisi ollut porareiästä otettu kairasydännäyte. Yhteenvetona kartasta voidaan sanoa, että pienimittakaavainen kallioperäkartta voi aiheuttaa sellaista hajontaa ja epävarmuutta, että sillä on kohtalaista merkitystä riskiarviointia tehtäessä.

Vesianalyysit

Jyväskylän kaupungin ympäristölaboratorio on akkreditoitu laboratorio, joka käyttää arseenin analyysissä standardia SFS-EN ISO 11969-1997 ja fluoridille standardia SFS-EN ISO 103041:1995. Määritysrajat näille aineille ovat vastaavasti 0,05 µg/L ja 0,01 mg/L. Kaikkein vanhimmassa, 2000-luvun alun aineistossa fluoridin määritysrajana oli 0,1 mg/L. Lähes kaikki Ruoveden ja Virtain analyysit on tehty Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistyksen tai AnalyCen Oy:n laboratoriossa. Molemmat sijaitsevat Tampereella. Käytetyt standardit samoin kuin määritysrajat ovat näillä laboratorioilla

amat kuin Jyväskylässä. Epävarmuus ei ole vakio vaan tuloksesta riippuvainen. Määrittämissrajalla se voi olla 100 %. Arseenin kohdalla epävarmuus on laboratoriosta riippuen toimenpiderajalla 5–15 µg/L 15–20 % ja fluoridilla vastaavasti alueella 1–3 mg/L 10–20 % (Sahi 2012, Mattsson 2012). Jos esimerkiksi saadaan arseenipitoisuus 10 µg/L, on tulos 95 % varmuudella 10 ± 2 µg/L (Sahi 2012). Epävarmuus prosentteina pienenee mitä korkeampia pitoisuuksia saadaan. Analyysituloksen epävarmuus on käytännössä niin pieni, että niillä ei ole merkitystä työssä esitettyjen tulkintojen kannalta. Niiden merkitystä on pyritty häivyttämään myös siten, että lievästi koholla olevat arvot ja raja-arvon ylitykset ovat käsittelyssä tavallaan samanarvoisia.

7.2 Alueellinen tarkastelu

Saadut tulokset ovat samansuuntaisia aiempien tutkimusten kanssa. Tämä tuli erityisen selvästi esille fluoridin kohdalla. Keski-Suomesta on tavattu korkeita fluoridipitoisuuksia suunnilleen Keuruu–Virrat–Ähtäri – kolmion sisäpuolelta (Lahermo & Backman 2000, 26). Siten aiemmat käsitykset fluoridin esiintymisestä saivat vahvistusta ja kuva Keurusselän alueella tarkentui selvästi. Arseenin kohdalla tulokset olivat siinä mielessä vastoin ennakko-odotuksia, että varsinaisia raja-arvon ylityksiä tai ylipäättään koholla olevia arvoja oli niin vähän. Tämä on tietysti kaivovettä käyttävien kuntalaisten kannalta hyvä asia, mutta kartoituksen kannalta tulos jäi varsin laihaksi.

Fluoridilla aineiston mediaani oli 0,6 mg/L. Lahermon ym. (2002, 19) koko Suomen kattavassa tutkimuksessa (253 näytettä) vastaava luku oli 0,15 mg/L. Ero on huomattava ja kertoo läntisen Keski-Suomen ja Ylä-Pirkanmaan olevan paikoin fluoridin esiintymiselle otollista aluetta. Myös keskiarvo 0,9 mg on korkeampi kuin koko maan aineistossa ollut 0,7 mg/L. Kiinnostava yksityiskohtana voidaan mainita, että Keurusselän alueen maksimiarvo oli peräti 5,3 mg, kun koko maan tuloksissa korkein mitattu tulos on ollut vain vähän suurempi (6,0 mg). Kyseinen tulos saatiin Keuruun ja Mänttä-Vilppulan väliltä noin 12 km Mäntän keskustasta lounaaseen Keurusselän itäpuolelta.

Arseenin esiintyminen alueella haitallisessa määrin on niin vähäistä, että liian pitkälle meneviä tulkintoja riskialueista ei kannata tehdä. Riskitarkasteluun, siis yli 5 µg:n ylityksiin päätyi vain kymmenen kaivoa. Voitaisiin kenties varauksella todeta vain

ääripäät suhteessa kivilajeihin ottamalla samalla huomioon niiden suhteellinen osuus kokonaispinta-alasta. Granodioriittiin osuu vain 2–3 kaivoa vaikka sen suhteellinen osuus on selvästi suurin. Graniittiin toiseksi yleisimpänä kivilajina osuu 3–4 kaivoa. Kiilleliuskeessa tai kiillegneississä on 3–4 kaivoa vaikka näitä esiintyy selvästi vähemmän kuin kahta edellä mainittua. Huomionarvoista on, että metavulkaniittiin tai gabroon ei osu yhtään kaivoa. Tämä voi silti olla myös sattumaa eikä ole perusteltua väittää, että riski arseenille niiden kohdalla olisi nolla. Loukola-Ruskeeniemen ja Lahermon (2004) mukaan korkeita arseenipitoisuuksia on tavattu mustaliuskeista, gabroista ja emäksistä vulkaniiteista. Nyt saatujen tulosten mukaan 3–4 kohonnutta arvoa löydettiin liuskeista, joita ovat esimerkiksi metamorfoituneet sedimenttikivet. Tulosten perusteella voitaisiin suositella arseenin tutkimista, mikäli porakaivo sijaitsee kiilleliuskeessa tai –gneississä. Vastaavasti tutkimusta voitaisiin pitää tarpeettomana tilanteessa, jos kaivo sijaitsee granodioriitisessa kallioperässä. Yleiskartalla sijoitettuna kohonneista arvoista 80 % sijaitsee Ruoveden alueella. Ilmiön esiintymistä voi selittää joko sattuma tai se että Ruovesi on lähinnä Tampereen liuskevyöhykettä, jossa arseenia esiintyy pohjavedessä runsaasti (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2007, 31).

Fluoridin esiintymistä voidaan pitää alueella todellisena ongelmana. Kohonneita arvoja on niin paljon, että niiden perusteella voidaan jo nähdä fluoridin esiintymisen keskittyminen tiettyihin kivilajeihin porattuihin kaivoihin. Granodioriitti on alueen yleisin kivilaji ja graniitti toiseksi yleisin. Graniitissa koholla olevia kaivovesiä esiintyy 21 kertaa ja granodioriitissa 19 kertaa. Ilman että kyseessä olisi eri kivilajien raja-alue, esiintyy kohonneita arvoja vain yhden kerran muualla kuin edellä kerrotuissa kivissä. Kyseinen kaivo sijoittuu gabra-dioriittiin. Yksi kaivo on metavulkaniitissa, mutta sen muodostuma on kartalla niin kapea, että myös tämä kaivo voi todellisuudessa olla granodioriitissa. Koska graniitti on alueella vasta toiseksi yleisin kivilaji, mutta siinä esiintyy eniten kohonneita arvoja, voidaan perustellusti sanoa sen olevan potentiaalinen riski fluoridin esiintymiselle. Lahermon ja Backmanin (2000) mukaan kallioperän pohjavedessä graniitissa, granodioriitissa ja migmaattisissa gneisseissä esiintyy Keski- ja Länsi-Suomessa kohonneita fluoridipitoisuuksia. Nyt saadut tulokset eroavat näistä vain siinä, että Keurusselältä ei gneissistä tavattu kohonneita arvoja. Fluoridi kannattaa siten ehdottomasti tutkia, mikäli porakaivo on tehty graniittiin. Kotitaloudelle, jonka kaivo tulee granodioriittiin, kannattaa fluoriditutkimusta perustellusti suositella. Edellä kerrotut pätevät myös vanhaan kaivoon, jota ei aiemmin ole tutkittu. Metavulkaniittiin tai liuskeeseen tehdyllä kaivolla tutkimus ei näyttäisi olevan tarpeen. Myös

gabro-dioriitti on kivilaji, jonka kohdalla riski on vähäinen. Yleiskartalta katsoen voidaan erottaa muutamia alueita, joiden kohdalla fluoriditutkimus on paikallaan. Nämä ovat Pihlajaveden järvioltaan pohjois- ja itäosat Keuruulla, Toisveden ympäristö Virroilla ja Keurusselän itäpuoli. Myös Keuruun itäpuolisista kylistä Huttulan ympäristöä voi pitää fluoridin esiintymisen riskialueena. Riskialueeksi voi varauksella kutsua myös Ruoveden Muroleen ympäristöä.

Työn eräänä tavoitteena oli etsiä riskialueita ja sen jälkeen selvittää, voiko kallioperän perusteella esittää perustellun arvion kalliopohjaveden sisältämän arseenin tai fluoridin tutkimisen tarpeellisuudelle. Tähän voi vastata siten, että fluoridin kohdalla vastaus on kyllä ja arseenin kohdalla ehkä. Liiallisen arseenin esiintyminen on alueella satunnaista, mutta siitä huolimatta liuskeisessa kallioperässä oleva porakaivo näyttäisi lisäävän riskiä etenkin silloin, kun se sijaitsee Ruoveden alueella.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn ensimmäisenä lähtökohtana oli lähteä keräämään hajallaan olevaa tietoa Keuruun, Mänttä-Vilppulan, Ruoveden ja Virtain porakaivojen arseeni- ja fluoridipitoisuudesta. Tietojen kokoamisen jälkeen tulokset taulukoitiin ja valitun raja-arvon, ei siis lainsäädännöllisen raja-arvon, ylitykset esitettiin kallioperäkartalla paikkatietona. Tavoitteena oli löytää ne alueet, joissa arseenia tai fluoridia esiintyy muita enemmän. Riskialueiden perusteella voitaisiin aiempaa paremmin antaa suosituksia tai määräyksiä uusien tai aiemmin tutkimattomien porakaivojen arseenin ja fluoridin pitoisuuksien selvittämiseksi. Vastaavia tutkimuksia on Keurusselän alueella aiemmin tehty Jämsän, Jämsänkosken ja Kuhmoisten alueella. Mänttä-Vilppulassa, Ruovedellä ja Virroilla on tutkittu arseenin esiintymistä suhteellisen harvalla pisteverkolla 2000-luvun puolivälissä. Näistä tutkimuksista huolimatta oli Keurusselällä paljon ns. valkoisia alueita ja työn tekemiselle oli selkeä tarve.

Arseenia esiintyy alueella niin vähän, että varsinaisista riskialueista ei voida puhua. Liuskealueilta löytyy muutamia kohonneita pitoisuuksia. Muut ovat satunnaisesti leviittäytyneenä graniittiin tai granodioriittiin. Kartalle päätyi vain kymmenen kaivoa tutkituista 137:stä. Lopputuloksena voi arseenin osalta todeta, että riski korkeille pitoisuuksille on pieni. Mikäli riskistä – pienestäkin - halutaan kuitenkin puhua ja sitä tarkastella kuntarajojen mukaan, näyttäisi se olevan Ruovedellä suurempi kuin muiden

kuntien alueella. Fluoridia esiintyy alueella lievästi kohonneina tai lainsäädännöllisen raja-arvon ylittäneenä peräti 51 kaivossa. Luku vastaa lähes kolmasosaa kaikista tutkimuksessa mukana olleista kaivoista. Graniitti on kivilajina riskiä selvästi lisäävä. Myös granodioriitti näyttää lisäävän riskiä, mutta heikommin. Alueellisesti tarkasteluna Keuruulla Pihlajaveden ympäristössä, Keurusselän itäpuolella ja Huttulan alueella on kohonnut fluoridiriski. Samoin Virroilla Toisveden ympäristö kuuluu riskialueeseen. Varauksella sellaisena voi pitää myös Ruoveden Muroleen seutua.

Käytännössä yksityiskaivojen käyttäjät vastaavat itse talousvetensä laadusta. Niiden ei siis tarvitse tutkituttaa käyttämäänsä vettä säännöllisesti eikä viranomaisella ole edes tarkkaa tietoa siitä kuinka paljon niiden valvonta-alueella porakaivoja on. Kuitenkin terveydensuojelulaki ja sen pohjalta annettu STM:n asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (401/2001) antaa terveydensuojeluviranomaiselle mahdollisuuden vaatia kaivoveden tutkimista, mikäli se epäilee vedestä aiheutuvan terveyshaittaa. Tällöin kyseeseen tulisivat etenkin ne kotitaloudet, joissa on alaikäisiä perheenjäseniä. Varsinkin fluoridin määrän selvittäminen olisi Keurusselän alueella tärkeää. Suositus tai viimekädessä määräys porakaivoveden tutkimiseen perustuisi viranomaisen tekemään riskiarvioon kaivon sijainnin perusteella. Riskiarvio tehtäisiin kallioperäkartan ja kaivon sijaintikoordinaatteihin nojautuen. Riskiarvion luotettavuutta voitaisiin parantaa hankkimalla viranomaisen käyttöön tarkempia kallioperäkartoja. Jo tämän työn aikana harkittu 1:100 000 mittakaavan kartta antaisi tukevamman pohjan arvion tekemiselle. Valtakunnallinen porakaivorekisteri olisi äärimmäisen hyvä työkalu kunnan terveysvalvontaan. Muissa Pohjoismaissa tällainen on käytössä, mutta Suomessa ei. Rekisteriä odotellessa kunnallisen terveydensuojeluviranomaisen, niin Keurusselällä kuin muuallakin, kannattaisi koota omalta alueeltaan porakaivojen tarkat sijainti- ja vedenlaatutiedot sekä yhdistää ne mahdollisuuksien mukaan kivilajitietoihin. Näin paikallinen tietämys vedenlaadusta lisääntyisi ja fluoridi- tai arseenitutkimusten tarpeen määrittelyssä päästäisiin kokemuseräisestä arvauksesta perusteltuun näkemykseen.

9 KIITOKSET

Tämän opinnäytetyön valmistumisesta haluan kiittää Keurusselän ympäristön- ja terveydensuojelutoimiston koko henkilöstöä ja varsinkin Anne Vornasta, Juha Korpelaa

ja Minna Raiviota. Suuri kiitos kuuluu myös Jyväskylän kaupungin ympäristötoimen sekä Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen laboratorioiden kemisteille arvokkaasta informaatiosta.

LÄHTEET

Geologian tutkimuskeskus 2007. Peruskartta-aineisto. Teoksessa: Loukola-Ruskeeniemi Kirsti, Ruskeeniemi Timo, Parviainen Annika ja Backman Birgitta (toim.) 2007. Arseeni Pirkanmaalla – esiintyminen, riskinarviointi ja riskinhallinta. RAMAS-hankkeen tärkeimmät tulokset. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

HealthCMI, Health Care Medicine Institute 2011. EPA lowers Fluoride in Water due to Health Hazards. WWW-dokumentti.
<http://www.healthcmi.com/index.php/nursingceus/345-epafluoridewaterhealthhazards>.
 Päivitetty 8.1.2011. Luettu 4.9.2012.

Hytönen, Kai 1999. Suomen mineraalit. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Idman, Hannu 1996. Porakaivotutkimus Kuhmoisissa v. 1996. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Idman, Hannu 1998. Kaivovesien laatututkimus Jämsässä ja Jämsänkoskella. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Isomäki, Eija, Valve, Matti, Kivimäki, Anna-Liisa ja Lahti, Kirsi 2006. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Hänninen, Otto, Leino, Olli, Kuusisto, Erkki, Komulainen, Hannu, Meriläinen, Päivi, Haverinen-Shaughnessy, Miettinen, Ilkka, Pekkanen Juha 2010. Elinympäristön altisteiden terveysvaikutukset Suomessa. Ympäristö ja Terveys 10, 27–28. Pori: Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy.

Jones Allan, Duck Robert, Reed Rob ja Weyers Jonathan 2000. Practical skills in environmental science. Prentice Hall.

Kettani M. Ali & Peixoto Jose Pinto 1973. The control of the water cycle. Scientific American, April, 46.

Kinnunen, Timo (toim.) 2005. Pohjaveden tutkimusopas, Käytännön ohjeita. Suomen vesiyhdistys.

Korkka-Niemi Kirsti ja Salonen Veli-Pekka 1996. Maanalaiset vedet - pohjavesigeologian perusteet. Turku: Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus.

Kuusisto, Esko 2002. Vltava on raju joki tulviltaan. Helsingin sanomat. 16.8.2002, B2.

Korsman K, Koistinen T., Kohonen J., Wennerström M., Ekdahl E., Honkamo M., Idman H. ja Pekkala Y. 1997. Suomen kallioperäkartta 1: 1 000 000. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Kähkönen, Yrjö 1998. Svekofenniset liuskealueet. Teoksessa: Lehtinen Martti, Nurmi Pekka ja Rämö Tapani (toim.) 3000 vuosimiljoonaa. Suomen kallioperä. Suomen geologinen seura.

Lahermo, Pertti ja Backman, Birgitta 2000. The occurrence and geochemistry of fluorides with special reference to natural waters in Finland. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Lahermo Pertti, Tarvainen Timo, Hatakka Tarja, Backman Birgitta, Juntunen Risto, Kortelainen Nina, Lakomaa Tuula, Nikkarinen Maria, Vesterbacka Pia, Väisänen Ulpu ja Suomela Pekka 2002. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Lapinlampi, Toivo, Sipilä, Annika, Hatva, Tuomo, Kivimäki, Ilmo, Kokkonen, Pauliina, Kosunen, Jarmo, Lammila, Jyrki, Lipponen, Annukka, Santala, Erkki ja Rissanen, Johanna 2001. Kysymyksiä kaivoista – Frågor om brunnar. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita.

Lehtinen, Heli ja Sorvari, Jaana 2006. Arseenista aiheutuvien riskien hallinta Pirkanmaalla. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Loukola-Ruskeeniemi, Kirsti ja Lahermo, Pertti (toim.) 2004. Arseeni Suomen luonnossa. Ympäristövaikutukset ja riskit. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Loukola-Ruskeeniemi, Kirsti, Ruskeeniemi Timo, Parviainen Annika ja Backman Birgitta (toim.) 2007. Arseeni Pirkanmaalla – esiintyminen, riskinarviointi ja riskinhallinta. RAMAS-hankkeen tärkeimmät tulokset. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

Maanmittauslaitos 2010 a. 3D koordinaatit. Ellipsoidi ja geoidi. WWW-dokumentti <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/3d-koordinaatit/ellipsoidi-geoidi>. Luettu 2.7.2012.

Maanmittauslaitos 2010 b. Karttaprojektiot. Gauss-Kruger. WWW-dokumentti <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/karttaprojektiot/suomessakaytettavat-projektiot/gauss-krueger>. Luettu 3.7.2012.

Maanmittauslaitos 2010 c. Karttaprojektiot. TM35FIN. WWW-dokumentti. <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/karttaprojektiot/suomessakaytettavat-projektiot/tm35fin>. Luettu 3.7.2012.

Maanmittauslaitos 2011 a. Karttapaikka. WWW-sovellus. <http://kansalaisen.karttapaikka.fi/kartanhaku/osoitehaku.html?lang=>. Luettu 16.7.2012.

Maanmittauslaitos 2011 b. Karttapaikka. Käyttöohjeet. WWW-dokumentti. <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/karttapaikka/kayttoohjeet>. Luettu 24.9.2012.

Mattsson Riikka 2012. Henkilökohtainen tiedonanto 2.10.2012. Kemisti. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen Tampereen laboratorio.

Nironen, Mikko 1998. Proterotsooiset orogeeniset syväkivet. Teoksessa: Lehtinen Martti, Nurmi Pekka ja Rämö Tapani (toim.) 3000 vuosimiljoonaa. Suomen kalliopera. Suomen geologinen seura.

Press, Frank ja Siever, Raymond 2002. Understanding earth. New York: W.H. Freeman and Company.

Rämö, Tapani 1993. Rapakivigraniitti: kiviävän suomalaisen matka maailmalle. Summary: Rapakivigranites. Finnish and worldwide. Kivi 2.

Rämö, Tapani 1998. Rapakivigraniittit - peruskallio repeää ja sen juuret sulavat. Teoksessa: Lehtinen Martti, Nurmi Pekka ja Rämö Tapani (toim.) 3000 vuosimiljoonaa. Suomen kallioperä. Suomen geologinen seura.

Sahi, Timo 2012. Henkilökohtainen tiedonanto 7.5.2012. Vastaava kemisti. Jyväskylän kaupungin ympäristötoimen laboratorio.

Suomen ympäristökeskus 2011 a. Kotitalouden vedenkäsittelymenetelmät. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=9720&lan=fi>. Päivitetty 16.5.2011. Luettu 22.8.2012.

Suomen ympäristökeskus 2011 b. RO- ja massasuodattimien vertailua. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=9737&lan=fi>. Päivitetty 25.3.2011. Luettu 22.8.2012.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 401/2001. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010401>. Ei päivitystietoa. Luettu 5.6.2012.

Terveyden- ja hyvinvoinnin laitos 2008. Arseenin saanti ja käyttäytyminen elimistössä. WWW-dokumentti. http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa_terveydesta/elinymparisto/vesi/kaivovesi/arseeni_as/. Päivitetty 7.4.2008. Luettu 7.5.2012

Tilastokeskus 2012. Kuntien avainluvut. WWW-dokumentti. <http://tilastokeskus.fi/tup/kunnat/kuntatiedot/249.html>. Luettu 6.9.2012.